

Vliv konstrukce tkaniny vyrobené z příze s příměsí kovových vláken na elektromagnetické stínění

Diplomová práce

Studijní program N3106 – Textilní inženýrství

Studijní obor: 3106T017 – Oděvní a textilní technologie

Autor práce: **Bc. Helena Dubová**

Vedoucí práce: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.

Influence of fabric construction made of yarn with metal fiber admixture on electromagnetic shielding

Master thesis

Study programme: N3106 – Textile Engineering

Study branch: 3106T017 – Clothing and Textile Technology

Author: **Bc. Helena Dubová**

Supervisor: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Vliv konstrukce tkaniny vyrobené z příze s příměsí kovových vláken na elektromagnetické stínění

Jméno a příjmení: **Bc. Helena Dubová**
Osobní číslo: T16000092
Studijní program: N3106 Textilní inženýrství
Studijní obor: Oděvní a textilní technologie
Zadávací katedra: Katedra technologií a struktur
Akademický rok: **2017/2018**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte rešerši zaměřenou na problematiku elektrické vodivosti a elektromagnetického stínění.
2. Provedte rozbor použité příze z hlediska technologie výroby a základních parametrů (jemnost, zákrut) a vybraných vlastností (objemovou nestejnomyernost – variabilita průměru příze, chlupatost, pevnost, tažnost).
3. Provedte základní rozbor plošné a prostorové geometrie tkanin vyrobených z příze s příměsí kovových vláken.
4. Na sadě experimentálních tkanin provedte měření elektrické vodivosti a elektromagnetického stínění.
5. Posuďte vliv plošné a prostorové geometrie na chování tkanin z hlediska elektromagnetického stínění.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická



Seznam odborné literatury:


- [1] ŠAFÁŘOVÁ, V. *Textilní materiály se zvýšenou elektrickou vodivostí*. Zpráva pro Výzkumné centrum TEXTIL II, sekce B. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010.
- [2] ŠAFÁŘOVÁ, V. *Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu*. Liberec, 2014. Disertační práce. Technická univerzita v Liberci. Fakulta textilní.
- [3] ŠAFÁŘOVÁ, V., MILITKÝ, J. Multifunctional Metal Composite Textile Shields Against Electromagnetic Radiation – Effect of Various Parameters on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Polymer Composites*. 2017, 38 (2), 309 – 323. ISSN: 0272-8397.
- [4] TUNÁKOVÁ, V., TECHNIKOVÁ, L., MILITKÝ, J. Influence of Washing/Drying Cycles on Fundamental Properties of Metal Fiber-Containing Fabrics Designed for Electromagnetic Shielding Purposes. *Textile Research Journal*. 2017, 87(2), 175-192, ISSN: 0040-5175.

Vedoucí práce: Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
Katedra technologií a struktur

Konzultant práce: Ing. Veronika Tunáková, Ph.D.
Katedra materiálového inženýrství

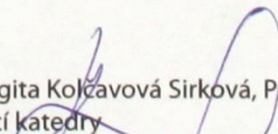
Datum zadání práce: 19. dubna 2018

Předpokládaný termín odevzdání: 18. dubna 2019


Ing. Jana Drašarová, Ph.D.
děkanka

V Liberci 23. ledna 2019




Ing. Brigita Kolčavová Sirková, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Byla jsem seznámena s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že texty tištěné verze práce a elektronické verze práce vložené do IS STAG se shodují.

10. 4. 2019

Bc. Helena Dubová

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych ráda poděkovala Ing. Brigitě Kolčavové Sirkové, Ph.D za odborný dohled a cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Také bych ráda poděkovala Ing. Veronice Tunákové, Ph.D. a Ing. Evě Moučkové, Ph.D. za vstřícnost a cenné rady při zpracování experimentální části mé diplomové práce.

Dále bych chtěla poděkovat mé rodině, přáteli, nejbližším a pracovnímu kolektivu za jejich podporu a trpělivost během celého mého studia.

ABSTRAKT

V této diplomové práci je sledován vliv konstrukčních parametrů tkaniny na její schopnost odstínit elektromagnetické záření. Rešeršní část je věnována problematice elektromagnetického záření a možnostem jeho odstínění včetně metod měření stínící účinnosti. V rešeršní části jsou následně definovány konstrukční parametry přízí a tkanin z pohledu plošné a prostorové geometrie, jenž mohou ovlivnit stínící účinnost. V experimentální části jsou popsány charakteristiky souboru experimentálních tkanin dle konstrukčních parametrů, včetně parametrů použité příze. Následně je na sadě experimentálních vzorků měřena elektrická vodivost a elektromagnetická stínící účinnost. V závěru práce je vyhodnocen vliv konstrukčních parametrů tkaniny na elektromagnetické stínění.

Klíčová slova: elektrosmog, elektromagnetické záření, elektromagnetické stínění, textilie, elektrická vodivost, kovové vlákno, uhlíkové vlákno, vlákno z vodivého polymeru.

ABSTRACT

The influence of fabric construction parameters on its ability to shield of electromagnetic radiation is monitored in this master thesis. The research part is dedicated to the issue of electromagnetic radiation and the possibilities of its shielding, including methods of shielding effectiveness measurement. Subsequently, the structural parameters of yarns and fabrics are defined from the perspective of surface and spatial geometry, which can influence the shielding effectiveness. The parameters of a set of experimental fabrics are described in the experimental part, including the parameters of the yarn used in fabric. Subsequently, electrical conductivity and electromagnetic shielding effectiveness are measured on the set of experimental samples. The influence of fabric construction parameters on electromagnetic shielding is evaluated the conclusion,

Key words: electrosmog, electromagnetic radiation, electromagnetic shielding, textile, electrically conductive, metal fiber, carbon fiber, conductive polymer

Obsah

| | |
|---|----|
| Seznam použitých zkratk a symbolů | 11 |
| I. ÚVOD | 13 |
| II. REŠERŠNÍ ČÁST | 14 |
| 1 Přehled aktuální problematiky | 14 |
| 1.1 Vývoj materiálů k odstínění | 14 |
| 1.2 Textilní štíty..... | 15 |
| 1.3 Klasifikace a aplikace stínících textilií | 17 |
| 2 Elektromagnetické záření..... | 19 |
| 2.1 Záření ionizující a neionizující | 20 |
| 2.2 Vliv neionizujícího záření | 20 |
| 3 Elektromagnetické stínění..... | 21 |
| 3.1 Metody měření stínící účinnosti | 23 |
| 3.1.1 Metoda stíněné schránky | 23 |
| 3.1.2 Metoda stíněného prostoru..... | 24 |
| 3.1.3 Metoda koaxiálního přenosového vedení | 24 |
| 3.2 Elektrické vlastnosti materiálů | 25 |
| 4 Materiály se stínící účinností | 26 |
| 4.1 Použití vodivých vláken | 26 |
| 4.1.1 Kovová vlákna | 27 |
| 4.1.2 Pokovená vlákna | 27 |
| 4.1.3 Uhlíková vlákna..... | 27 |
| 4.1.4 Vlákná z vodivých polymerů..... | 28 |
| 4.1.5 Bikomponentní vlákna..... | 28 |



| | | |
|-------|---|----|
| 4.2 | Příprava vodivé textile..... | 29 |
| 5 | Konstrukční parametry tkanin..... | 30 |
| 5.1 | Parametry příze..... | 30 |
| 5.1.1 | Technologie výroby příze s příměsí kovových vláken..... | 30 |
| 5.1.2 | Jemnost příze..... | 32 |
| 5.1.3 | Zákrut příze..... | 32 |
| 5.1.4 | Nestejněměrnost a chlupatost příze..... | 33 |
| 5.2 | Plošná geometrie tkaniny..... | 34 |
| 5.2.1 | Popis vazné buňky..... | 34 |
| 5.2.2 | Dostava osnovy a útku..... | 34 |
| 5.2.3 | Vazba..... | 35 |
| 5.2.4 | Tloušťka tkaniny..... | 40 |
| 5.3 | Prostorová geometrie tkaniny..... | 41 |
| 5.3.1 | Model vazné vlny..... | 41 |
| 5.3.2 | Zvlnění nití v tkanině..... | 41 |
| III. | EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST..... | 43 |
| 6 | Studované vzorky příze - tkanina..... | 43 |
| 6.1 | Základní parametry příze..... | 43 |
| 6.1.1 | Ověření jemnosti..... | 44 |
| 6.1.2 | Zákrut hybridní příze..... | 44 |
| 6.1.3 | Nestejněměrnost a chlupatost hybridní příze..... | 45 |
| 6.2 | Parametry vzorků tkaniny..... | 46 |
| 6.2.1 | Tloušťka vzorků tkanin..... | 49 |
| 6.2.2 | Číselné vyjádření vazby..... | 50 |
| 6.2.3 | Strukturální póry provázání..... | 53 |
| 7 | Elektrická vodivost vzorků tkaniny..... | 55 |



| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1 | Měření elektrické vodivosti | 55 |
| 7.2 | Vyhodnocení plošné rezistivity | 57 |
| 7.2.1 | Vliv dostavy | 59 |
| 7.2.2 | Vliv koeficientu provázání..... | 61 |
| 7.3 | Vyhodnocení objemové rezistivity | 63 |
| 7.3.1 | Vliv tloušťky tkaniny | 65 |
| 7.3.2 | Vliv více vrstev tkaniny | 66 |
| 8 | Elektromagnetické stínění vzorků tkaniny..... | 68 |
| 8.1 | Měření elektromagnetického stínění | 68 |
| 8.2 | Vyhodnocení efektivity stínění..... | 69 |
| 8.2.1 | Vliv dostavy útkových nití..... | 71 |
| 8.2.2 | Vliv provázání..... | 73 |
| 8.2.3 | Vliv tloušťky a více vrstev materiálu..... | 76 |
| 8.3 | Závislost proměnných..... | 78 |
| IV. | ZÁVĚR..... | 80 |
| | Seznam tabulek..... | 88 |
| | Seznam grafů..... | 89 |
| | Příloha č. 1 – Snímky experimentálních vzorků | 91 |
| | Příloha č. 2 – Vliv parametrů na plošnou a objemovou rezistivitu | 98 |
| | Příloha č. 3 – Hodnoty elektromagnetického stínění pro vybrané frekvence..... | 102 |



Seznam použitých zkratek a symbolů

| | |
|---------------------|---|
| ρ_s | plošná rezistivita [Ω] |
| ρ_v | objemová rezistivita [Ωm] |
| Ω | ohm |
| A | rozestup útkových nití [cm] |
| Ag | stříbro |
| B | rozestup osnovních nití [cm] |
| CV^2_{lim} | kvadratická limitní nestejnomyšnost [%] |
| D | průměr příze |
| dB | decibel |
| d_o | průměr osnovní nitě [mm] |
| d_1 | průměr vnitřní kruhové elektrody [m] |
| D_1 | průměr cylindrické elektrody [m] |
| D_o | dostava osnovy [cm^{-1}] |
| d_u | průměr útkové nitě [mm] |
| D_u | dostava útku [cm^{-1}] |
| d_{str} | střední průměr nitě |
| dtex | decitex |
| E | intenzita elektrického pole [NC^{-1}] |
| EMF | elektromagnetické pole |
| EHS | elektromagnetická přecitlivělost |
| EMS | elektromagnetické stínění [dB] |
| f | stupeň provázání |
| f^m | opravný činitel provázanosti |
| g | vzdálenost mezi kontakty elektrod [m] |
| G | elektrická vodivost [S] |
| H | chlupatost příze |
| h_o | výška vazné vlny osnovních nití [mm] |
| h_u | výška vazné vlny útkových nití [mm] |
| I | elektrický proud [A] |
| IS | interval spolehlivosti |
| IEE | The Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| κ_z | intenzita zákrutu |
| κ | koeficient provázanosti tkaniny |
| κ_o | koeficient provázanosti osnovy |
| κ_u | koeficient provázanosti útku |
| kPa | kilopascal |



| | |
|-------|--|
| ktex | kilotex |
| K_v | efektivní plocha cylindrické elektrody [m] |
| l | délka [km] |
| m | hmotnost [g] |
| n | počet skaných nití |
| n_o | počet osnovních nití |
| n_u | počet útkových nití |
| P | výkonová hustota [$W \cdot m^{-2}$] |
| PAD | polyamid |
| PL | pivotová polosuma |
| PP | polypropylen |
| R | elektrický odpor [Ω] |
| R_x | měřená vnitřní rezistence [Ω] |
| rp | relativní četnost pórů |
| S | siemens |
| SE | stínící účinnost [dB] |
| SS | stainless steel |
| t | tloušťka tkaniny [mm] |
| T | jemnost [tex] |
| v | počet všech úseků ve tkanině |
| U | napětí [V] |
| WHO | Světová zdravotnická organizace |
| Z | zákrut [m^{-1}] |
| z_o | počet zakřížených úseků osnovy |
| z_u | počet zakřížených úseků útku |



I. ÚVOD

Moderní doba je doprovázena stále se zdokonalujícími technologiemi, které mají lidstvu usnadnit život. Na druhou stranu všechna tato elektronická zařízení produkují elektromagnetické záření, které má vliv na živé organismy. Doposud nebyly negativní účinky zcela prokázány, ačkoli část odborné populace poukazuje na nesčetné výzkumy a studie, podávající výsledky o nádorových onemocnění způsobených bezdrátovou technologií. Naopak druhá část vědecké společnosti zvláště pak z průmyslového odvětví tato tvrzení vyvrací a zaručuje, že veškerá elektronická zařízení jsou zdravotně nezávadná. Proto jsou stále častěji hledány možnosti prevence před působením elektromagnetického záření, ať už jsou účinky jakékoli.

Cílem této diplomové práce je zhodnotit vliv konstrukce tkaniny, jakožto prostředku k ochraně před neionizujícím zářením s ohledem na jeho schopnost záření odstínit. V první části práce je provedena rešerše aktuální problematiky, zabývající se odstíněním elektromagnetického záření za účelem ochrany lidského organismu a ostatních elektronických zařízení. Rešerše je doplněna o princip elektromagnetického záření a metody měření jeho odstínění včetně přehledu vláknenných materiálů, vhodných pro výrobu stínící textilie. Následně jsou v rešeršní části shrnuty základní parametry příze, jež ovlivňuje konstrukci tkaniny. V návaznosti na parametry příze jsou uvedeny významné konstrukční parametry tkaniny, které mají vliv na výsledný textilní výrobek.

Druhá polovina práce obsahuje experimentální část rozdělenou do několika hlavních kapitol a podkapitol. Nejprve je proveden rozbor základních charakteristik délkové textilie, z které jsou zhotoveny vzorky pro následné hodnocení stínění a elektrické vodivosti. Ze základních charakteristik byla vybrána jemnost, chlupatost, objemová nestejnomyšnost a zákrut, které ovlivňují technologický proces tkání. V následující kapitole byl proveden rozbor geometrie experimentálních vzorků tkaniny z hlediska jejich dostavy, typu vazby a jejího číselného vyjádření. Další kapitola experimentální části je zaměřena na měření elektrické vodivosti a elektromagnetického stínění u vzorků tkaniny s odlišnými konstrukčními parametry s cílem vyhodnotit vybrané charakteristiky poskytující optimální elektromagnetické stínění.

Závěr diplomové práce je věnován vyhodnocení parametrů tkaniny s dostatečným elektromagnetickým stíněním a vliv těchto konstrukčních parametrů na stínící vlastnost.



II. REŠERŠNÍ ČÁST

1 Přehled aktuální problematiky

S rozvojem moderní společnosti vzrůstá množství a doba expozice elektromagnetickému stínění, jemuž je lidský organismus vystavován. Z tohoto důvodu jsou stále častěji zkoumány a testovány možnosti prevence. Nejúčinnější a nejjednodušší ochranou před účinky elektromagnetického (dále jen EM) záření je možnost omezení jeho produkce. Bohužel je tato možnost v současné době téměř nerealizovatelná. Jedinci mohou ve svých domovech vypínat elektrické spotřebiče ze sítě, či uvádět mobilní telefony do režimu „v letadle“, kdy není záření produkováno, ale v širším hledisku nelze tvorbu EM záření příliš ovlivnit. Více efektivní a reálnou možností prevence před účinky tohoto záření je možnost jeho odstínění.

1.1 Vývoj materiálů k odstínění

Pokrok ve vývoji materiálů vhodných k odstínění EM pole shrnuje ve svém výzkumu Ch. HE a kol. [1] u příležitosti 2. Mezinárodního symposia o průzkumu zdrojů a vědě o životním prostředí. Materiály jsou v této práci rozděleny na kovové elektromagneticky stínící materiály, na feromagnetické materiály, kovové vodiče a na amorfní elektromagneticky stínící materiály. V kovových materiálech absorpce EM záření souvisí s jejich celkovou permitivitou. Permitivita je fyzikální vlastnost, která popisuje interakci mezi hmotou a elektromagnetickými poli a souvisí se strukturálními a fyzikálně-chemickými vlastnostmi materiálu. Feromagnetické materiály byly hodnoceny z hlediska záření o nízkých frekvencích, jímž jsou vystaveni např. pracovníci údržby vysokonapěťových zařízení [1]. Stínící účinnost závisí dle studie na propustnosti materiálu, jeho geometrii a tloušťce.

V současnosti je také stále častěji zkoumána schopnost odstínění EM záření u kompozitních materiálů vzhledem k jejich mechanickým a elektrickým vlastnostem, nízké hmotnosti a dalším užitným vlastnostem. V experimentu I. BALANA a kol. [2] je hlavním předmětem zkoumání stínící účinnost u kompozitního materiálu s plnivem v podobě vodivého



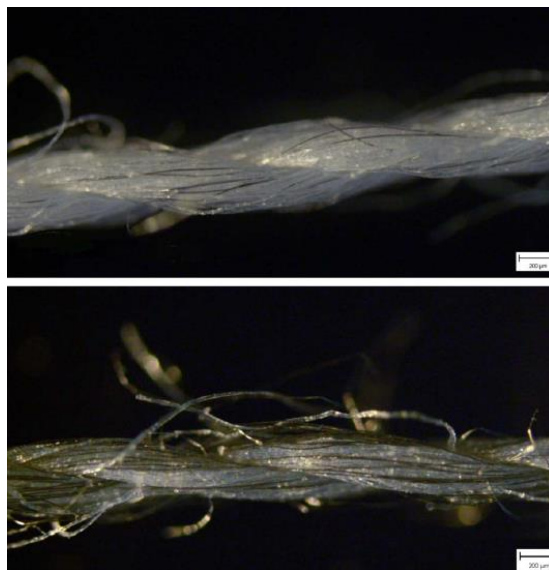
prášku z niklu a železa v různém hmotnostním podílu. Pro zlepšení celkové stínící účinnosti je u jednoho ze vzorků použita síť z uhlíku jako samostatná vrstva. Získané výsledky prezentovaly nízkou stínící účinnost (dále jen SE) u vzorků obsahujících pouze plnivo z niklu či železa. Naopak uspokojivé výsledky SE ve frekvenčním rozsahu 0,9 - 4 GHz byly naměřeny u vzorku s výplňkovou sítí [2]. Snahou vědců je najít optimální stínící materiál s dostatečně vysokou stínící efektivitou při zachování mechanických a užitných vlastností s ohledem na ekonomickou stránku výroby.

Ačkoli z hlediska SE se zdají být zcela kovové materiály ideální díky vysoké elektrické vodivosti, jsou postupně nahrazovány kompozitními materiály na bázi polymerů s příměsí kovu. Práce K. R. SAHU a U. DE [3] je zaměřena na snížení nákladů výroby při zachování optimální stínící účinnosti. Snahou vědců bylo nahrazení drahého kovového prášku nebo vloček jemnými mosaznými a měděnými vlákny, která jsou v soustružnických dílnách považována za odpad [3]. Tento zkoumaný materiál však vykazoval nízké hodnoty SE a otevírá tak možnosti pro další výzkum.

1.2 Textilní štíty

Pro účely elektromagnetického stínění je stále více dáována přednost textilním materiálům před čistě kovovými štíty. Kompozitní textilní štíty mají určitou flexibilitu, odolnost, trvanlivost, komfortní vlastnosti a mohou být zpracovány klasickými textilními technologiemi. Při hledání možností odstínění byly konvenční příze s kovovými vlákny hodnoceny jako ideální vstupní element pro výrobu textilních štítů proti EM záření. Stínící účinnost u příze a plošných textilií s obsahem kovového vlákna byla studována například v práci V. TUNÁKOVÁ, J. MILITKÝ [4]. V této práci byla hodnocena stínící účinnost u příze a plošné textilie vyrobené z polypropylenových (PP) vláken s příměsí kovových vláken z nerezové oceli (SS) pod obchodním názvem BEKINOX. Jedním z hodnotících parametrů byl podíl kovové složky v přízi od 1% až do 75%. Polypropylenové vlákno pod obchodním názvem TREVON bylo použito jako nevodivá složka kompozity v jednoduché a dvojmo skané přízi. Tato příze s rozdílným podílem vodivé složky je zachycena na mikroskopickém snímku na obrázku č. 1.





Obrázek 1 - Mikroskopický snímek dvojmo skané hybridní příze, obsahující 15% a 60% vodivé komponenty, zdroj [4]

Součástí experimentu bylo také hodnocení SE u plošných textilií s odlišnou strukturou a technologií výroby a s různým obsahem vodivé komponenty v hybridní vodivé přízi. V této práci byl především hodnocen vliv obsahu vodivé příze ve struktuře, její rozmístění a vliv přítomnosti vlhkosti v materiálu. Nejvyšší hodnoty SE po vyhodnocení experimentu dosahovala tkanina z příze o obsahu 25% PP a 75% SS. V porovnání s tkaninou vykazovaly pletené struktury se stejným obsahem vodivé komponenty výrazně nižší hodnotu SE. Nižší stínící účinnost byla pravděpodobně ovlivněna použitím jemnější příze v pletenině, nižší plošnou hmotností, nižším faktorem zakrytí a celkově otevřenější strukturou charakteristickou pro pleteniny. Práce se již dále nezabývala, jaké konstrukční parametry u tkaniny mohou tuto vlastnost ovlivnit a zda vliv na úroveň SE mají. Byla zde také vysledována vyšší SE u zdvojených materiálů či vyztužených částí plošné textilie. U dvojnásobného materiálu byla naměřena přibližně dvojnásobná SE. Dle vyhodnocení experimentu lze předpokládat, že vliv na úroveň SE má nejen struktura plošné textilie, ale i množství vodivé komponenty v přízi, čímž lze stínící účinnost definovat již při výrobě vstupní příze. Úroveň SE lze také ovlivnit plošnou a prostorovou geometrií samotné textilie – množstvím mezi-vazebního prostoru a tloušťkou materiálu. Čím soudržnější struktura a silnější materiál je, tím je SE vyšší. Obsah vlhkosti a hydrofilní vlastnosti nevodivé komponenty mohou také významně ovlivnit celkovou hodnotu SE [4]. V práci M. J. TOGHCHIVA [5] byla také zkoumána účinnost stínění u tkanin vyrobených z hybridních přízí obsahujících vodivou komponentu odlišného původu.



Hodnocené vzorky byly vyrobeny za použití dvou různých elektricky vodivých přízí, kdy byl sledován rozdíl mezi pokovenou přízí a přízí s kovovým staplovým vláknem. Jedna příze byla vyrobena z polyamidu (PA12) s povrchem ze stříbra (Ag) a druhá obsahovala příměs vláken z nerezové oceli. V rámci experimentu byly použity různé dostavy útku pro zkoumání vlivu hustoty dostavy přízí na úroveň elektromagnetického stínění. Dále byla hodnocena účinnost elektromagnetického stínění u dvouvrstevných vzorků ve frekvenčním pásmu 0,8 až 10 GHz. Dle hodnocení experimentu vykazoval nejvyšší SE vzorek tkaniny z polyamidu s vrstvou ze stříbra, v plátňové a keprové vazbě s dostavou útku 16 nití na cm. Naopak u vzorků v atlasové vazbě byla vyhodnocena nejnižší SE [5]. Ověření vlivu vazby, dostavy a dalších konstrukčních parametrů tkanin na stínící účinnost vůči elektromagnetickému záření byly motivujícím prvkem ke zpracování tohoto tématu.

1.3 Klasifikace a aplikace stínících textilií

Textilie s vlastností odstínit EM pole jsou určeny nejen pro technické aplikace v oblasti letectví, automobilového průmyslu či flexibilní elektroniky. Důležitou aplikací pro EMS textilie se stává oděvní průmysl, kde jsou výrobci nabízeny například ochranné speciální oděvy a pomůcky či oděvy pro denní nošení. Vlastnosti vodivé příze, struktura plošné textilie a konstrukce oděvu mají významný vliv na stínící účinek při zachování optimálního komfortu. Množství EMS textilií je vyráběno z přízí s příměsí kovových vláken vzhledem k jejich vysoké elektrické vodivosti. Nevýhodou těchto materiálů je jejich ekonomická náročnost. Výše požadované elektromagnetické stínící účinnosti je závislá na účelu použití. Důležité je odlišovat textilní výrobky určené na profesionální použití, kde se předpokládá vyšší intenzita záření a doba expozice.

Výborem pro akreditaci a certifikaci funkčních a technických textilií [6] byly stínící textilie rozděleny do tříd dle účelu použití a dále do jednotlivých kategorií dle jejich stínící účinnosti, jež jsou uvedeny v tabulce č. 1 a v tabulce č. 2 níže:

- Třída I. – zahrnuje textilie pro profesionální použití, jako jsou zdravotnické materiály, materiály určené pro karanténu, bezpečnostní oděvy pro pracovníky výroby elektroniky, obsluhy vysokonapěťového vedení atd. [6];



- Třída II. – zahrnuje textilie pro běžné použití, jako jsou oděvy pro denní nošení, oděvy určené do kancelářských prostor, těhotenská móda, výrobky související s přenosem dat, elektronické výrobky a další nové aplikace [6].

Tabulka 1 - Třída I. stínících textilií - Profesionální použití

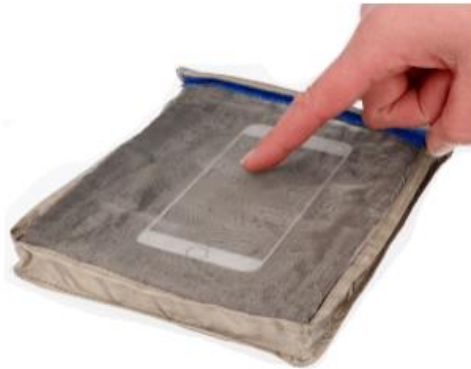
| Stupeň | 5 Výborný | 4 Velmi dobrý | 3 Dobrý | 2 Průměrný | 1 Slabý |
|--|---------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|
| Procentuální hodnota EM stínění | ES > 99.9999% | 99.9999% ≥ ES > 99.999% | 99.999% ≥ ES > 99.99% | 99.99% ≥ ES > 99.9% | 99.9% ≥ ES > 99.0% |
| Efektivita stínící účinnosti | SE > 60dB | 60dB ≥ SE > 50dB | 50dB ≥ SE > 40dB | 40dB ≥ SE > 30dB | 30dB ≥ SE > 20dB |

Tabulka 2 - Třída II. stínících textilií - Běžné použití

| Stupeň | 5 Výborný | 4 Velmi dobrý | 3 Dobrý | 2 Průměrný | 1 Slabý |
|--|--------------|--------------------|------------------|-----------------|----------------|
| Procentuální hodnota EM stínění | ES > 99.9% | 99.9% ≥ ES > 99.0% | 99.0% ≥ ES > 90% | 90% ≥ ES > 80% | 80% ≥ ES > 70% |
| Efektivita stínící účinnosti | SE > 30dB | 30dB ≥ SE > 20dB | 20dB ≥ SE > 10dB | 10dB ≥ SE > 7dB | 7dB ≥ SE > 5dB |

V současnosti je výroba textilního průmyslu zaměřena na produkci výrobků zajišťujících ochranu před EM zářením z hlediska osobní ochrany. Stínící materiály byly převážně z počátku používány jako součást ochranných obalů k uchování či přepravě důležitých součástek, nebo jako ochranné aplikace do elektronických citlivých přístrojů či odstínění kabelů. Dále mohou být textilní štíty vyráběny v podobě závěsů a jiných bytových textilií, jako například nebesa nad postelí či svrchní vrstva matrace. Pro přímou ochranu lidského organismu jsou na trhu k dostání hotové oděvní výrobky v podobě pánských boxerek, stínících ponožek, zástěr a těhotenských pásů, kukel a čelenek [7].





Obrázek 2 - Ochranné pouzdro pro mobilní telefon, zdroj [7]

Stínící textilie jsou také používány k zhotovení oděvních součástí, jako jsou podšívky či kapsy u kalhot, sak a jiných úložných prostor, kam jsou často ukládány mobilní telefony. Výrobci jsou také nabízeny ochranné obaly a pouzdra pro mobilní telefony, notebooky a jinou přenosnou elektroniku, která přímo svým zářením působí na lidský organismus [7]. Příklad stínícího obalu od holandského výrobce je zachycen na obrázku č. 2 výše.

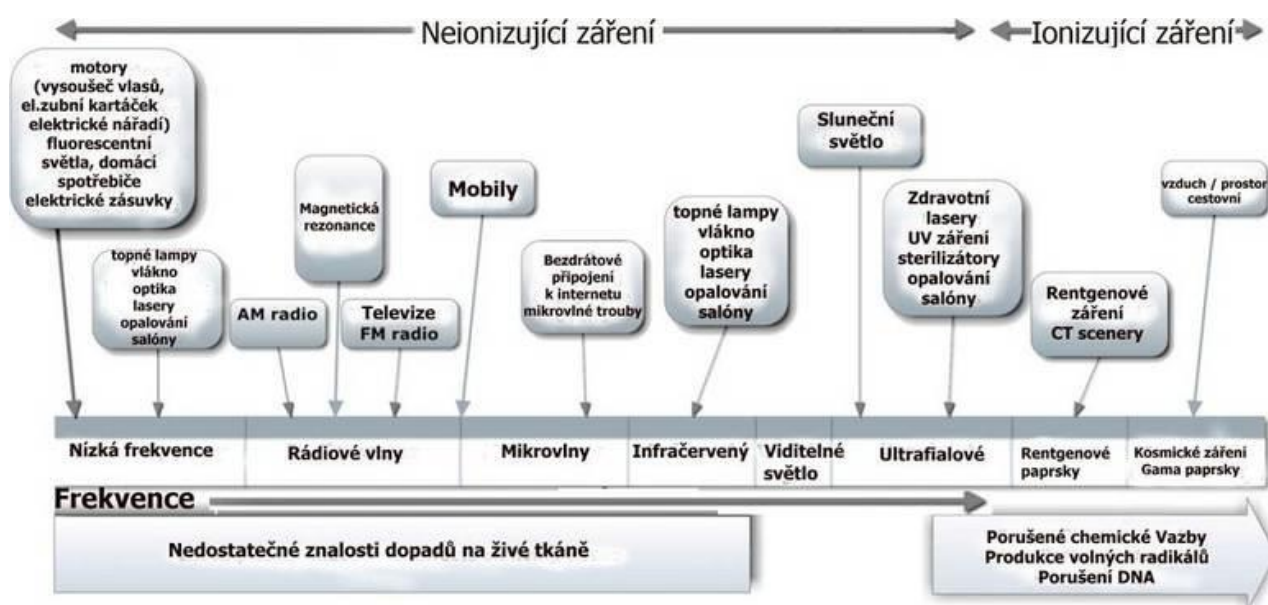
2 Elektromagnetické záření

Záření je uvolnění energie v podobě vlnění nebo částic skrz hmotu či prostor. Jak popisuje v publikaci D. HALLIDAY a kol. [8] teorie elektromagnetického záření vychází z celoživotní práce skotského fyzika Jamese Clerk Maxwella. Dle Maxwellovy teorie bylo v 19. století objeveno, že světelný paprsek je postupná vlna, která je tvořena elektrickým a magnetickým polem [8]. Toto elektromagnetické vlnění tedy úzce souvisí s optikou, jenž studuje viditelné světlo. Elektromagnetické pole bylo Jamesem Clerk Maxwellem popsáno pomocí čtyř rovnic, vyjadřujících v integrálním nebo diferenciálním tvaru obecnou závislost mezi elektrickým a magnetickým polem a charakteristikami materiálu a prostředí – permitivitou a permeabilitou [8].



2.1 Záření ionizující a neionizující

Elektromagnetické vlnění lze rozdělit do dvou kategorií – na záření ionizující a neionizující. První kategorie zahrnuje záření poškozující DNA, které se ve spektru nachází na nižších vlnových délkách a jde například o záření rentgenové či gama záření. Druhou kategorií je záření neionizující, které svými vlastnostmi lidský organismus poškodit přímo nedokáže. Hlavním zdrojem záření je Slunce, které ovlivňuje životní prostředí. Mimo slunečního záření dopadá na Zemi kosmické záření z hvězd a z dalších objektů z Galaxie. Ve spektru elektromagnetického záření je zahrnuto také záření uměle vyprodukované, např. rádiové či televizní signály nebo mikrovlny. Každé elektromagnetické záření je charakterizováno svou vlnovou délkou, intenzitou a frekvencí. Pro představu čtenáře je na obrázku č. 3 uveden přehled nejčastějších zdrojů neionizujícího záření na frekvenčním pásmu, jenž popisuje ve svém článku I. NOVÁK [9].



Obrázek 3 - Přehled zdrojů neionizujícího záření, zdroj [9]

2.2 Vliv neionizujícího záření

Každý den je lidský organismus vystavován elektromagnetickému záření, aniž by jím bylo jakékoli působení vnímáno. Okolní prostředí je přemírou záření znečištěno a je tedy tento jev mnohdy nazýván elektrosmogem, kterému je věnováno i několik webových portálů [10].



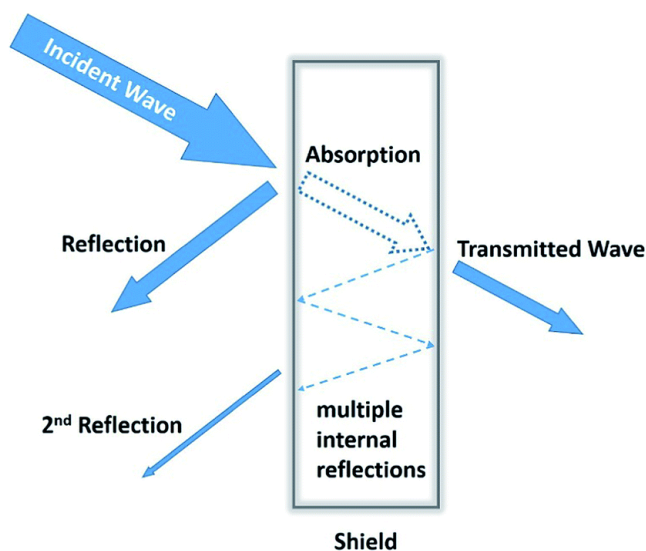
Zdroji takového elektrosmogu jsou například vysílače mobilních a datových operátorů, televizního a rozhlasového vysílání nebo vedení vysokého napětí. Elektromagnetické záření produkuje také veškeré elektrospotřebiče v domácnosti či na pracovišti, které jsou zapojeny v elektrické síti a nemusí být právě zapnuty a používány. V souvislosti se stále se zvyšujícími obavami z možných zdravotních rizik vlivem vystavení elektromagnetickému poli jsou hlášeny osoby s přecitlivělostí na tento jev, neboli s EHS (electromagnetic hypersensitivity). Syndrom EHS je charakterizován řadou nespécifických příznaků. Mezi nejčastěji uváděné příznaky patří dle WHO [11] dermatologické projevy (zarudnutí, mravenčení a pocity pálení pokožky), stejně tak únava, závratě, nevolnost, srdeční obtíže a poruchy zažívání. Negativní dopady na lidský organizmus jsou v posledních desetiletích předmětem zkoumání. Cílem některých studií bylo prokázat korelaci mezi expozicí EM poli a zvýšenou mírou výskytu leukémie, nádorových onemocnění mozku a dalších zdravotních problémů dle publikace M. BLANK [12]. Například stále častější používání mobilních telefonů a využívání bezdrátové technologie, je spojováno s výskytem rakoviny mozku a jiným neurologickým onemocněním. V roce 2011 bylo Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny [12] radiofrekvenční záření klasifikováno do skupiny 2B, tedy jako možný karcinogen.

3 Elektromagnetické stínění

V souvislosti s možnými negativními účinky jsou odborníky, textilní průmysl nevyjímaje, vyvíjeny materiály a prostředky s cílem co nejefektivněji odstínit elektromagnetické záření. Podstatou stínění je omezení produkce záření na straně vysílače, kdy by mohl ovlivnit jiná elektronická zařízení a způsobit tak jejich poškození či poruchy. Cílem elektromagnetického stínění je také ochrana elektronických zařízení či lidského organismu před vnějšími elektromagnetickými poli na pozici přijímače. Ochrana před elektromagnetickým zářením je zajišťována prostřednictvím trojrozměrného stínicího materiálu, tzv. štítu či krytu [4]. Účinnost štítu závisí na vlastnostech daného materiálu. Úroveň stínění závisí na hodnotách magnetické permeability a na elektrické vodivosti materiálu. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou geometrické charakteristiky štítu či frekvence vnějšího dopadajícího elektromagnetického pole. Parametr, kterým je vyjadřováno snížení intenzity EM pole je tzv. stínicí účinnost (SE = shielding effectiveness) [13].



Stínicí účinnost je dle normy IEE 299 (The Institute of Electrical and Electronics Engineers) [14] definována jako poměr intenzity přijatého elektrického nebo magnetického signálu u přijímače bez štítu vůči signálu přijatému uvnitř štítu. Dochází ke ztrátě záření, pokud je štít umístěn mezi vysílací anténu a přijímací anténu. Dle již zmíněné normy je SE vyjádřeno v decibelech [dB]. Při dosažení elektromagnetických vln povrchu stínícího materiálu existují tři různé mechanismy odstínění elektromagnetického záření. Primárním mechanismem stínění je zeslabení elektromagnetické vlny způsobené odrazem záření prostřednictvím štítu. Sekundárním mechanismem stínění EM záření je jeho absorpce na povrchu a třetí mechanismus stínění zahrnuje více odrazů uvnitř mezivrstvy štítu dle práce F. WU a kol. [15]. Celková stínicí účinnost je pak výsledkem součtu všech tří mechanismů. Princip stínicí účinnosti je znázorněn schématem na obrázku č. 4 níže.



Obrázek 4 - Mechanismus elektromagnetického stínění, zdroj [15]

Účinnost stínění může být vyjádřena v logaritmicím měřítku. V oblasti nízkého rozsahu frekvencí (50 Hz až 20 MHz) lze vyjádřit stínicí efektivitu pro magnetické pole jako

$$SE_H [\text{dB}] = 20 \log_{10} \frac{|H_0|}{|H_S|} \quad (3.1)$$

kde H_0 je hodnota magnetického pole bez přítomnosti krytu a H_S je hodnota magnetického pole uvnitř krytu. V oblasti rozsahu středních a vyšších frekvencí (20 MHz až 300 MHz) může být forma pro vyjádření účinnosti stínění jako



$$SE \text{ [dB]} = 20 \log_{10} \frac{|E_0|}{|E_S|} \quad (3.2)$$

kde E_0 je elektrické pole bez přítomnosti krytu a E_S je elektrické pole uvnitř krytu. Odstínění elektrického a magnetického pole při nízkých frekvencích je odlišné a naopak při vysokých frekvencích je zcela totožné a je často měřeno z hlediska hustoty výkonu. Norma IEE 299 [16] definuje SE z hlediska přijaté energie následovně

$$SE \text{ [dB]} = 10 \log_{10} \frac{|P_0|}{|P_S|} \quad (3.3)$$

kde P_0 je výkonová hustota měřená na přijímači bez krytu a P_S je výkon měřený na přijímači uvnitř krytu. Výkon štítu lze také charakterizovat stínícím faktorem (dále jako SF – shielding factor), který je definován jako poměr celkové intenzity elektrického nebo magnetického pole na dvou površích štítu (vnitřní a vnější povrch pro uzavřený trojrozměrný štít) [16].

3.1 Metody měření stínící účinnosti

K stanovení stínící účinnosti vůči elektromagnetickému záření lze použít několik odlišných metod měření:

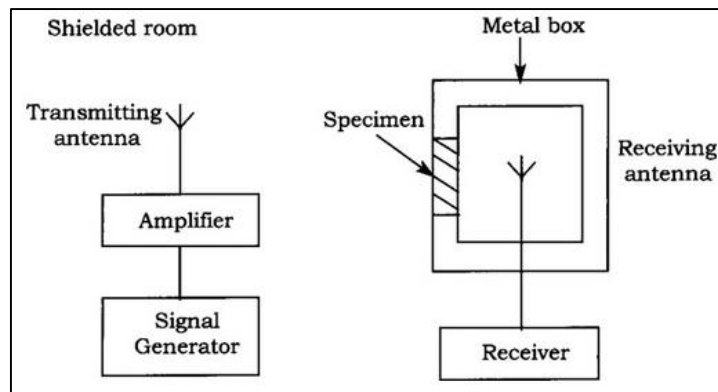
- Metoda stíněné schránky
- Metoda stíněného prostoru
- Metoda koaxiálního přenosového vedení

3.1.1 Metoda stíněné schránky

Tato metoda je široce používána pro srovnávací měření stínící efektivnosti u zkušebních vzorků různých materiálů. Zařízení se skládá z kovové schránky, která má z jedné strany otvor pro vzorek a uvnitř se nachází přijímací anténa. Vysílací anténa je umístěna mimo schránku a intenzita signálů přijatých anténou uvnitř je zaznamenávána jak bez vzorku, tak i se vzorkem umístěným přes otvor. Schéma této metody je zachyceno na obrázku č. 5. Nevýhodou této metody je, že je obtížné dosáhnout přiměřeného elektrického kontaktu mezi zkušebními vzorky



a stíněnou schránkou. Dalším problémem je omezený rozsah frekvence přibližně kolem 500 MHz a výsledky různých laboratoří lze obtížně porovnat [17].



Obrázek 5 - Schéma metody stíněné schránky, zdroj [17]

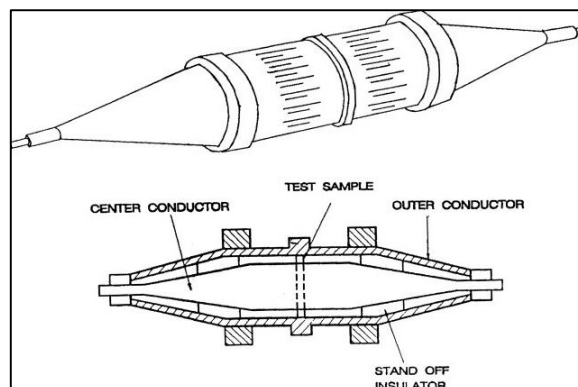
3.1.2 Metoda stíněného prostoru

Metoda stíněného prostoru je nejsložitější a byla vyvinuta tak, aby překonala omezení metody stíněné schránky. Obecný princip je stejný jako metoda stíněné schránky, s výjimkou toho, že každá ze součástí měřicího systému (generátor signálu, vysílací anténa, přijímací anténa a záznamové zařízení) je izolována v oddělených prostorech, aby bylo zabráněno nežádoucímu rušení. Ve srovnání s metodou stíněné schránky byl rozšířen frekvenční rozsah, přes který lze získat spolehlivé výsledky z různých laboratoří [17].

3.1.3 Metoda koaxiálního přenosového vedení

Metoda koaxiálního přenosového vedení pro měření účinnosti stínění překonává omezení metody stíněné schránky a je mnohdy preferovanou metodou. Hlavní výhodou této metody je skutečnost, že výsledky získané v různých laboratořích jsou porovnatelné. Navíc touto metodou lze rozlišit odraženou, absorbovanou a prošlou energii. Schéma testovacího zařízení je zachyceno na obrázku č. 6. Měření lze provádět na malých vzorcích kulatého tvaru při specifických frekvencích pomocí modulovaného generátoru signálu [17].





Obrázek 6 - Schéma metody koaxiálního přenosového vedení, zdroj [17]

3.2 Elektrické vlastnosti materiálů

Schopnost materiálů odstínit elektromagnetické záření je ovlivněna základními fyzikálními veličinami - elektrickým odporem a elektrickou vodivostí. Elektrickým odporem R je charakterizována schopnost vodiče vést elektrický proud. Hodnota odporu je dána použitým materiálem vodiče, jeho teplotou, délkou a obsahem průřezu. Jednotkou elektrického odporu je ohm [Ω] [18]. Vztah pro výpočet elektrického odporu je popsán Ohmovým zákonem dle vzorce

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.4)$$

| | | |
|-----|--------------|------------------|
| R | [Ω] | elektrický odpor |
| U | [V] | napětí |
| I | [A] | elektrický proud |

Elektrický odpor (rezistance) mezi dvěma body vodiče je určen přiložením napětí mezi tyto dva body a následně je změřen elektrický proud, který vodičem prochází. Podle hodnoty elektrického odporu se látky dělí na vodiče, polovodiče a nevodivé. Lze říci, že dobré vodiče se vyznačují nízkou hodnotou odporu, a naopak nevodivé hodnotou vysokou. Hodnotu elektrického odporu lze také vyjádřit pomocí měrného odporu, tzv. rezistivity.

Převrácenou hodnotou elektrického odporu je elektrická vodivost G . Jednotkou elektrické vodivosti je siemens [S], přičemž platí, že $1[S] = 1[\Omega^{-1}]$. Vztah pro elektrickou vodivost je tedy vyjádřen



$$G = \frac{1}{R} \quad (3.5)$$

| | | |
|-----|--------------|---------------------|
| G | [S] | elektrická vodivost |
| R | [Ω] | elektrický odpor |

Vodič má tolikrát vyšší vodivost, kolikrát je menší jeho elektrický odpor. Elektrická vodivost udává velikost elektrického proudu procházející vodičem při stálém napětí na jeho koncích. Optimální úroveň elektrické vodivosti je jedním z předpokladů pro materiál určený k odstínění elektromagnetického záření.

4 Materiály se stínící účinností

Jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách, dostatečná SE vůči elektromagnetickému záření úzce souvisí s elektrickou vodivostí (odraz EM vlny při nižších frekvencích) a zároveň s magnetickou permeabilitou (zajišťuje vyšší absorpci EM vlny při nižších frekvencích) materiálu. Proto jsou štíty založeny na použití kovů, jako je například měď, hliník, ocel nebo stříbro. Na poli současného výzkumu je řešena otázka vlastností stínících materiálů tak, aby vyhovovaly současným požadavkům na odolnost proti chemikáliím a korozi, na nízkou hmotnost, flexibilitu, dostupné zpracování a přijatelnou cenu. Proto jsou původní kryty v podobě těžkých kovových plátů nahrazovány textilními materiály z vláken ze syntetickým polymerů jako je polyamid či polypropylen. Zvláště pak, jedná-li se o výrobu bariérových oděvů či oděvních součástí. Existuje několik možností, jak docílit elektrické vodivosti materiálu. Buď lze použít elektricky vodivých vláken a tím následně vodivých přízí nebo lze finální úpravou opatřit již zhotovené textilie. V následujících podkapitolách jsou popsány možnosti docílení stínící účinnosti a příklady elektricky vodivých vláken, používaných pro výrobu EMS textilií.

4.1 Použití vodivých vláken

Jednou z možností jak odstínit EM pole je použít příze obsahující vodivá vlákna. Zároveň je však nutné dbát na zachování určitých požadavků na jejich mechanické a fyzikální vlastnosti. Měla by být například zachována pružnost a ohebnost i plošná hmotnost textilie.



Například kovová vlákna, uhlíková vlákna a vlákna z vodivých polymerů mají vysokou tuhost a jsou velmi křehká, proto jsou často ještě modifikována.

4.1.1 Kovová vlákna

Kovová vlákna jsou jednou z nevýznamnějších surovin pro výrobu EMS textilií díky své vysoké elektrické vodivosti a zároveň mechanickým vlastnostem. Jedná se o vlákna přirozeně vodivá a lze je použít do textilní struktury ve formě směšové příze. Kovová vlákna jsou vyráběna ve formě tenkých drátků, zpravidla do 100 μm technikou tažení za studena nebo za tepla přes kónické otvory. Tažením za tepla jsou zpracovávány křehké kovy, jako je wolfram. Naopak tažení za studena je vhodné pro kujné kovy, jakým je měď či ocel [19]. Do skupiny používaných kovových vláken patří například:

- Měď – je charakteristická svou vysokou elektrickou vodivostí, proto je často potažena polymery a přidávána do vláknenných struktur jako vodivá komponenta. Používána je zejména pro elektrotechnické účely.
- Hliník – hliníková vlákna jsou převážně nahrazována vlákny uhlíkovými.
- Ocel – je používána pro svou elektrickou vodivost a pevnost. Zpracovávat lze vlákna o průměru až 15 μm a je jednou z nejčastěji používaných surovin pro výrobu textilií odstiňujících elektromagnetické záření. Mimo jiné mohou být ocelová vlákna používána na technické účely např. do výztuží pneumatik.

4.1.2 Pokovená vlákna

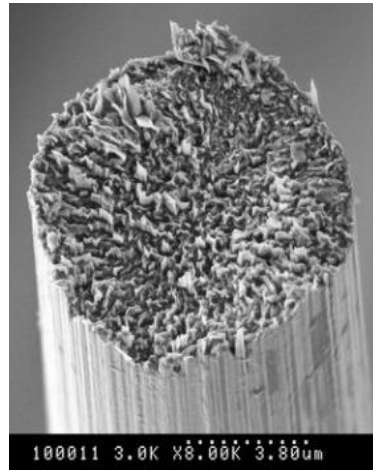
V případě pokovených vláken se jedná o vlákna speciálně modifikovaná za účelem docílit zvýšené elektrické vodivosti. Klasická vlákna např. z bavlny či polymeru, jsou opatřena tenkou vrstvou kovu a jsou používána například při výrobě smart textilií. Vlákna jsou tak odolná v ohybu a jsou zpracovatelná více druhy textilních technologií.

4.1.3 Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna jsou další přirozeně elektricky vodivá vlákna, a proto je možné jimi nahradit kovové vodiče v řadě aplikací. Pro textilní výrobu jsou používána vlákna o průměru



5-7 μm . Uhlík je prvek, který se vyskytuje v mnoha modifikacích – od amorfního uhlíku až po grafit s hexagonální strukturou či formu diamantu. Na obrázku č. 7 je zachycen mikroskopický snímek příčného řezu uhlíkového vlákna [20].



Obrázek 7 - Příčný řez uhlíkového vlákna, zdroj [20]

4.1.4 Vlákna z vodivých polymerů

Polymery jsou díky svým mechanickým vlastnostem a zároveň ekonomické výhodě často používány do kompozitních materiálů spolu s vodivou komponentou. V současnosti je známo až sto druhů polymerů, které mají různou úroveň elektrické vodivosti. Mezi polymery, které jsou používány ve stínících kompozitních materiálech, patří polyamid (PAD) či polypropylen (PP). Vlákna polyamidu 6.6 jsou často modifikována po chemické či fyzikální stránce. Například jsou takto vyráběna vlákna antistatická, se zvýšenou elektrickou vodivostí. Mohou to být vlákna bikomponentní, která jsou vodivá v povrchové vrstvě substance [19].

4.1.5 Bikomponentní vlákna

Dalším způsobem jak docílit elektrické vodivosti textílie je použití bikomponentních vláken z taveniny polymeru. Bikomponentní vlákna lze rozdělit do dvou skupin dle typu [19]. Příklady různých typů a provedení bikomponentních vláken představuje obrázek č. 8.





Obrázek 8 - Příklady typů bikomponentních vláken, [19]

Dvouvrstvé struktury:

- typ S/S (side by side), který vzniká spojením dvou proudů taveniny ve zvláknovací trysce nebo těsně za ní pomocí lepení.
- typ C/S (core/sheath), který vzniká pomocí speciální trysky umožňující obklopení jednoho proudu taveniny (jádro) druhým proudem (plášť) [19].

Vícevrstvé struktury:

- typ M/F (bikonstituentní vlákno), který vzniká mechanickým mísením dvou tavenin.
- typ MS/S (multiple side by side), typ MR (multiple radial) a typ MC (multiple core), které jsou tvořeny vrstvami jednoho polymeru, oddělené polymerem jiným [19].

4.2 Příprava vodivé textile

Pro docílení vlastnosti odstínit elektromagnetické záření, lze nevodivou textilií opatřit vodivou vrstvou v podobě kovové folie či vodivého polymeru např. laminací. Tímto způsobem jsou zachovány mechanické vlastnosti textilie a zároveň je materiálu dodána nová vlastnost. Nevýhodou tohoto způsobu výroby stínících textilií je nízká stabilita při mechanickém namáhání a údržbě dle publikace V. ŠAFÁŘOVÁ [21].



5 Konstrukční parametry tkanin

Schopnost odstínit elektromagnetické záření je u textilních štítů dána nejen použitou surovinou, ale také jejími vlastnostmi. Vlastnosti tkanin z hlediska jejich výroby jsou definovány konstrukčními parametry. Konstrukční parametry tkaniny vycházejí ze základních vstupních parametrů příze a vstupních parametrů tkaniny. Důležitá je také cílová aplikace tkaniny, kterou je třeba zohlednit. Mezi základní vstupní parametry tkanin patří parametry jejich plošné geometrie - dostava osnovních a útkových nití, dále vazba, hustota tkaniny a v neposlední řadě tkací šířka tkaniny či plošná hmotnost [22]. Parametry tkanin lze dále posuzovat prostřednictvím prostorové geometrie, což zahrnuje zvlnění nití, výšku vazné vlny či úhel provázání nití.

5.1 Parametry příze

Příze (nitě) jsou vstupní délkové textilie pro výrobu tkaniny. Hojně používaný termín „nitě“ zahrnuje veškeré druhy délkových textilií, jako je příze, monofil a multifil. Příze představuje délkovou textilii z vláken konečné délky (tzv. staplová vlákna), která jsou vzájemně spojena zákrutem [23]. Na příze jsou z hlediska výrobního procesu kladeny mnohé požadavky. Nakolik jsou nositelkami struktury a vlastností finálního produktu, jedním z hlavních je jejich zpracovatelnost z hlediska textilní technologie tkání. Základní parametry příze jsou ovlivněny použitou technologií výroby – bavlnářskou, vlnářskou či lnářskou, které mohou být dále rozlišeny na technologii česanou (poločesanou), mykanou či rotorovou. Každá z těchto technologií sestává ze základních přádelnických systémů, jenž zahrnují soubor základních přádelnických procesů [25].

5.1.1 Technologie výroby příze s příměsí kovových vláken

Jednou z možností výroby textilie k odstínění EM pole, je použití příze s příměsí kovových vláken. Výroba příze s příměsí kovových vláken probíhá stejným způsobem, jako u jakékoli jiné prstencové příze vyrobené konvenčním způsobem. Dle výrobce polypropylenové kompozity [24] je nejprve zpracováván polypropylenový granulát, který je automaticky



dávkován do extruderu, kde je za určité teploty roztaven. Tavenina je dopravena potrubím a protlačována tryskami. Vlákna jsou od trysek odtahována určitou rychlostí, kterou je definována jemnost vláken a pomocí smáčecího válce je na vlákna nanášena aviváž. Následně jsou jednotlivé filamenty svedeny do pramenů a ty poté do jednoho či více svazků. Následuje tepelná fixace a na závěr je vlákenný pramen v řezacím stroji nařezán na jednotlivá vlákna o stanovené délce. Hotová stříž je dopravena do lisu, kde je zformována do balíku o daných rozměrech a hmotnosti. Tím je umožněna doprava do přádelny k dalšímu zpracování, jak uvádí výrobce [24].

K směsování PP vláken s vlákny z nerezové oceli dochází v pramenech v průběhu posukování. Pro orientaci čtenáře je níže shrnut ze skript P. URSÍNY [25] elementární proces přádelnické bavlnářské, mykané technologie výroby pro prstencovou mykanou přízi.

- Příprava vlákenného materiálu - tento systém zahrnuje proces rozvolňování, čištění a mísení vlákenné suroviny většinou dodávané v slisovaném balíku.
- Mykání - v této fázi technologie dochází k rozvlákňování vlákenné suroviny, ojednocování a napřimování jednotlivých vláken a zajišťování hmotové stejnoměrnosti. Proces mykání probíhá téměř ve všech spřádacích technologiích. Mykací stroj má mimořádně důležité postavení v celé technologii a na kvalitě výsledného produktu z mykacího stroje silně závisí kvalita výsledné příze. Mykání v bavlnářské technologii probíhá na víčkovém mykacím stroji. Dojde k urovnání vláken do podélného směru a zrovnoměnění výsledného produktu, jímž je jemná pavučinka [25].
- Posukování – tento systém ve fázi spřádání zahrnuje proces družení a zajišťování stejnoměrnosti vlákenných produktů, zjemňování a napřimování vláken. V této fázi dochází ke směsování polypropylenového vlákna se staplovým kovovým vláknem. Vlákenný materiál se nachází ve formě pramene.
- Předpřádání – v tomto systému je začleněn také proces zajištění hmotové stejnoměrnosti, zjemňování a napřimování vláken a zpevňování již směsového pramene. Dochází zde k protahování na průtahovém ústrojí a k následnému předpřádání a navíjení. Výstupním produktem je přást.



→ Dopřádání – tento závěrečný stupeň výroby příze probíhá na prstencovém dopřádacím stroji, jehož úkolem je zjemnit předkládaný prást, zpevnit protažený vlákenný produkt zakrucováním a následně vytvořit návin pro další technologie textilní výroby. Jedná se o konvenční systém dopřádání. Zakrucování u prstencového dopřádacího systému se provádí pomocí obíhajícího běžce na prstenci. Pohyb běžce je zajišťován od naháněného vřetene prostřednictvím odváděné příze. Běžec, který obíhá po prstenci, se podílí na zakrucování a současně vede přízi při navíjení na potáč [25].

5.1.2 Jemnost příze

Jemnost délkové textilie je definována dle normy ČSN 80 0050 jako poměr mezi hmotností a délkou nitě. Často je pro tento parametr užíván termín délková hmotnost. Parametr jemnosti tedy představuje hmotnost jednoho kilometru nitě v gramech, a v podstatě tak určuje i průměr nitě. S rostoucí jemností roste také průměr nitě [23]. Jednotkou jemnosti T je [tex] a je možné jej definovat pomocí vzorce níže:

$$T = \frac{m}{l} \quad (5.1)$$

| | | |
|-----|-------|----------|
| T | [tex] | jemnost |
| m | [g] | hmotnost |
| l | [km] | délka |

Při označování skaných přízí se používá zápis $T \times n$, kde T představuje jemnost jednoduché nitě a n počet skaných nití. S jemností příze úzce souvisí i její zákrut.

5.1.3 Zákrut příze

Zákrutem jsou ovlivněny zpracovatelské vlastnosti příze v průběhu procesu tkaní a jsou ovlivněny užitné a vzhledové vlastnosti výsledné tkaniny. Při označování nitě je uváděn číselný údaj, jenž udává počet zákrutů připadajících na jeden metr délky nitě. Za číselným údajem je dále uváděno velké písmeno „Z“ nebo „S“, jímž je udáván směr zákrutu. V případě skaných



nití je tímto údajem označován tzv. skací zákrut, používaný pro spojení jednoduchých nití [23]. Zákrut lze definovat pomocí Intenzity zákrutu κ_z [-] jenž je popsán vzorcem:

$$\kappa = \pi DZ \quad (5.2)$$

| | | |
|------------|--------------------|-------------------|
| κ_z | [-] | intenzita zákrutu |
| D | [mm] | průměr příze |
| Z | [m ⁻¹] | zákrut příze |

Při procesu skaní je vlákenný materiál zakrucován a stlačován a je tím tak ovlivněn průměr příze. Vlákna jsou orientována více k jádru příze. Průměr příze je tedy ovlivněn nejen jemností, ale i zákrutem, resp. zákrutovým koeficientem. Dalším parametrem příze ovlivňujícím technologii tkaní je její nestejnomyěrnost a chlupatost.

5.1.4 Nestejnomyěrnost a chlupatost příze

Nestejnomyěrnost příze je charakteristické kolísáním vlastností a může mít mnoho negativních dopadů na výsledný produkt. Nestejnomyěrností mohou vznikat vady na vzhledu tkaniny jako je mrakovitost, kdy je ve větších plochách na povrchu nevýrazná skvrnitost nebo pruhovitost tkaniny. Parametrem charakterizujícím kolísavost parametrů příze je limitní kvadratická nestejnomyěrnost CV_{lim}^2 [%]. Jedná se o nestejnomyěrnost pro ideální vlákenné útvary, kde jsou všechna vlákna napříměná a uložena paralelně vzhledem k ose příze, jenž je vyjádřena vztahem

$$CV_{lim} = \frac{100}{\sqrt{n}} \quad (5.3)$$

| | |
|----------------|--------------------------------------|
| CV_{lim} [%] | kvadratická limitní nestejnomyěrnost |
| n | střední počet vláken v průřezu příze |

Chlupatost příze v podobě odstávajících krátkých vláken může ovlivnit změnu tahu nitě v obou směrech a to jak pozitivně, tak i negativně. U příze je celková kontaktní plocha menší a třecí odpor je zvyšován ohybovou tuhostí odstávajících vláken a jejich třením [26]. Chlupatost odpovídá celkové délce vyčnívajících vláken na délku příze 1 cm. Nakolik se jedná o poměr dvou délek, je tato veličina bezrozměrná.

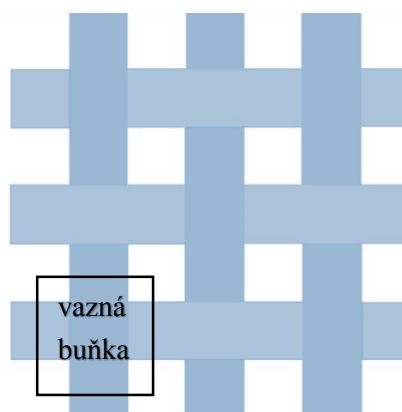


5.2 Plošná geometrie tkaniny

Plošnou geometrií je tkanina popsána z hlediska jejího vnějšího uspořádání. Plošná geometrie je mimo jiné definována danou vazbou, dostavou osnovních a útkových nití, jemností přízí a také použitým materiálem. Zpravidla je určena kolmým pohledem na daný materiál. V následujících podkapitolách jsou podrobněji popsány vybrané parametry plošné geometrie v souvislosti s tématem práce.

5.2.1 Popis vazné buňky

Základním prvkem plošné geometrie je vazná buňka z půdorysného pohledu – tedy jedno zakřížení osnovní a útkové nitě. Plošná geometrie vychází z představy modelu tkaniny, kde jsou všechny vazné body v jedné rovině. Ve skutečnosti dochází ve tkanině k vychýlení vazných bodů, což je blíže popsáno prostorovou geometrií [22]. Vazná buňka zachycena na obrázku č. 9 je také nejvýstižnější činitel plošného zakrytí, vycházející z půdorysné plochy.



Obrázek 9 - Model vazné buňky

5.2.2 Dostava osnovy a útku

Dostava tkaniny je definována zvláště pro osnovní soustavu nití a zvláště pro útkovou soustavu nití. Dostava osnovy je definována jako počet osnovních nití připadajících na jeden centimetr šířky tkaniny D_o [cm^{-1}] nebo na deset centimetrů šířky tkaniny D_o [10cm^{-1}]. Na základě dostavy je možné vyjádřit rozestup osnovních nití ve tkanině A [cm] = $1/D_o$. Dostava útku je pak definována jako počet útkových nití připadajících na jeden centimetr délky tkaniny

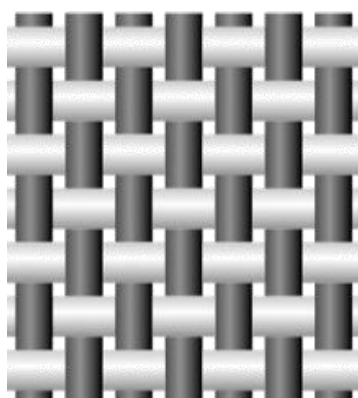


D_u [cm^{-1}] nebo na deset centimetrů délky tkaniny D_u [10cm^{-1}]. Dostavou útkových nití je možné také vyjádřit rozestup útkových nití ve tkanině B [cm] = $1/D_u$ [23].

5.2.3 Vazba

Způsob provázání osnovních a útkových nití je dán vazbou. U tkanin jsou rozlišovány dva základní vazební prvky – osnovní vazný bod a útkový vazný bod, které určují pozici jedné nitě vůči druhé z pohledu tvorby tkaniny [26]. Vazba nití ve tkanině je základem pro studium plošné a prostorové geometrie. Nejmenší, pravidelně se opakující část vazby je střída vazby. Lze ji definovat co do velikosti v příčném i podélném směru, tak i co do složitosti provázání. Vazby tkanin je možné v jejich základní podobě rozdělit na vazbu plátňovou a vazbu flotážní. Dle způsobu základního provázání jsou definovány tři druhy – vazba plátňová, keprová a atlasová. Základní vazby mají následně i formy odvozené. Obecně jsou vazby zapisovány zlomkem, před kterým je uvedeno velké písmeno, jenž označuje název vazby. V čitateli zlomku je následně uveden počet osnovních vazných bodů a ve jmenovateli je uveden počet útkových vazných bodů na první niti útku.

Plátňová vazba je nejjednodušší základní vazba s nejvyšším počtem provázání a nejvyšší soudržností. Střídu vazby tvoří dvě osnovní a dvě útkové nitě a vazba je tedy z lícu i z rubu totožná. Na každé niti se střídá pravidelně osnovní a útkový vazný bod. V plátňové vazbě se nevyskytují flotující úseky nití, a proto je docíleno nejvyššího možného provázání a maximální soudržnosti při dané dostavě [27]. Model plátňové vazby je uveden na obrázku č. 10.

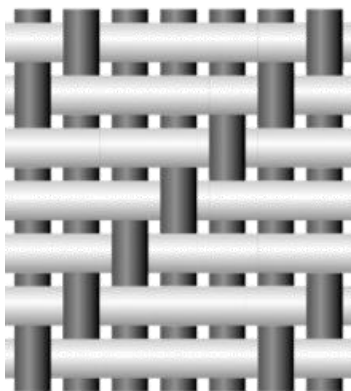


Obrázek 10 - Model plátňové vazby, zdroj [28]



Další základní vazbou je keprová vazba, u které je počet provazujících úseků nižší a vyskytují se zde i flotující úseky. Snižuje se tak vzájemná soudržnost osnovních a útkových nití. Provazující vazné body na sebe vzájemně diagonálně navazují a jsou tak ve tkanině vytvořeny šikmé řádky zleva doprava nebo zprava doleva [27]. Model pěti vazného kepru je zachycen na obrázku č. 11 níže.

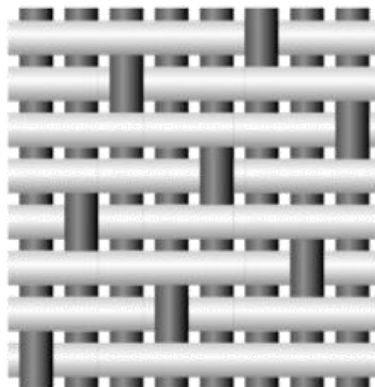
Pravý směr řádku je oznčen u zápisu vazby písmenem „Z“ a levý směr je pak označen mísmenem „S“. Keprová vazba je dále rozdělena na kepr osnovní a kepr útkový podle toho, které vazní body převládají. Nejmenší střída keprové vazby je u kepru tří vazného a dále jsou používané střídy kepru čtyř vazného či pěti vazného. Keprová vazba je označena velkým písmenem K, zlomkem a následně šipkou, určující směr řádkování [27].



Obrázek 11 - Model pěti vazného kepru, zdroj [28]

Atlasová vazba je třetí základní vazbou a je charakteristická povrchem s nevýrazným jemným šikmým řádkováním různého sklonu. Osnovní vazné body jsou ve střídě pravidelně rozloženy a charakteristické pro tuto vazbu je, že se nedotýkají. Atlasová vazba zachycena na obrázku č. 12 je označována velkým písmenem A, zlomkem a následně postupným číslem v závorce. Vzdálenost osnovních vazných bodů v útkové střídě je u atlasové útkové vazby určena právě postupným číslem. Postupné číslo udává, na kolikáté další osnovní niti je na příštím útku osnovní vazný bod [27].





Obrázek 12 - Model atlasové vazby, zdroj [28]

Jak již bylo popsáno v textu výše, vazba je charakterizována způsobem provázání nití ve tkanině. Vazba obsahuje dva typy úseků – úsek zakřížený, jenž spojuje jeden osnovní a jeden útkový vazný bod a dále úsek nezakřížený (flotáž), který spojuje dva a více stejných vazných bodů (dva osnovní nebo dva útkové) [29]. Maximální počet zakřížených úseků v jedné soustavě je dán počtem všech úseků ve střídě. Počet zakřížených úseků je charakterizován koeficientem provázanosti κ [-], který vyjadřuje podíl skutečně zakřížených úseků vůči všem úsekům.

$$\kappa_o = z_o/v \leq 1 \quad (5.4)$$

$$\kappa_u = z_u/v \leq 1 \quad (5.5)$$

$$\kappa = \frac{\kappa_o + \kappa_u}{2} \quad (5.6)$$

| | | |
|------------|-----|---------------------------------|
| κ | [-] | koeficient provázanosti tkaniny |
| κ_o | [-] | koeficient provázanosti osnovy |
| κ_u | [-] | koeficient provázanosti útku |
| z_o | [-] | počet zakřížených úseků osnovy |
| z_u | [-] | počet zakřížených úseků útku |
| v | [-] | počet všech úseků ve střídě |

Koeficient provázanosti s hodnotou $\kappa = 1$ má pouze plátňová vazba. Všechny ostatní vazby vykazují hodnoty menší než 1. Převrácenou hodnotou koeficientu provázanosti je



koeficient neprovázanosti, jenž charakterizuje flotážní úseky. Koeficientem neprovázanosti lze definovat míru podsouvání nití pod sebe v místech flotáže.

Pomocí opravného činitele provázanosti lze vyjádřit vliv neprovázání nití na dostavu jednotlivých soustav nití. Vazební exponent u opravného činitele vystihuje možnost podsouvání nití pod sebe ve volných vazbách. S volnější vazbou se zvyšuje opravný činitel f^n a to vede k vyšším hodnotám dosažitelných dostav tkaniny. Stupeň provázání tkaniny f charakterizuje u vazby počty průchodů nití z líce na rub a posun nití pod sebe v místech flotáže; je dán vztahem

$$f = \frac{n_o \cdot n_u}{\sum n_u \text{ počet přechodů v útkové mezeře}} \quad (5.7)$$

| | |
|-------|--------------------------|
| f | stupeň provázání tkaniny |
| n_o | počet osnovních nití |
| n_u | počet útkových nití |

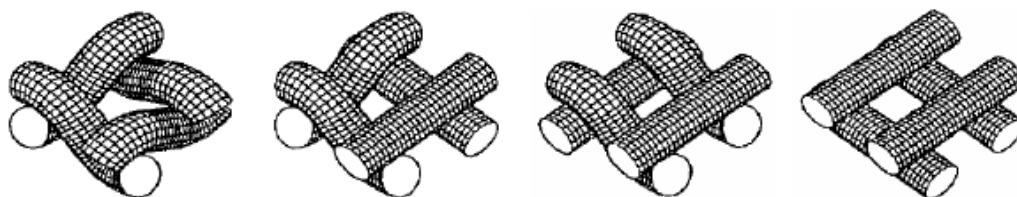
Pro každou vazbu je tedy vazební exponent jiný – pro kepry je $m = 0,39$, atlasy $m = 0,42$ a odvozená plátina $m = 0,45$ [22]. Neprovazující, volně ležící úsek, neboli flotáž je možné definovat pouze u neplátnových vazeb.

Vazná buňka je nejmenší strukturní jednotkou ve tkanině, jak již bylo popsáno a je tvořena vazným bodem a jeho okolím. Při posunutí této vazné buňky, kdy zabírá okolí jednoho mezinitného póru ve tkanině, lze hovořit o pórové buňce. Pomocí čtyř typů strukturálních modelů, lze definovat způsoby provázání nití ve tkanině a tak definovat polohu a četnost těchto strukturálních pórů ve střídě vazby. Četnost strukturálních pórů je vždy vztažena na velikost střídě vazby a lze tak vyjádřit jejich relativní četnost. Modely provázání jsou uvedeny na obrázku č. 13 níže. Podle Backera byly definovány čtyři typy těchto strukturálních modelů pórů [30].

$$rp1 = \frac{\sum p1}{n_o \cdot n_u} \quad rp2 = \frac{\sum p2}{n_o \cdot n_u} \quad rp3 = \frac{\sum p3}{n_o \cdot n_u} \quad rp4 = \frac{\sum p4}{n_o \cdot n_u} \quad (5.8)$$

| | |
|-------|------------------------|
| rp | relativní četnost pórů |
| n_o | počet osnovních nití |
| n_u | počet útkových nití |



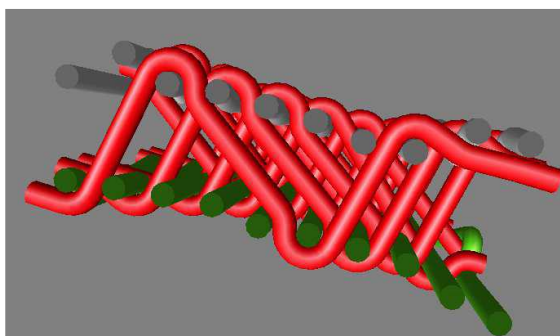


Obrázek 13 - Strukturální modely provázání - typ I, typ II, typ III a typ IV., zdroj [22]

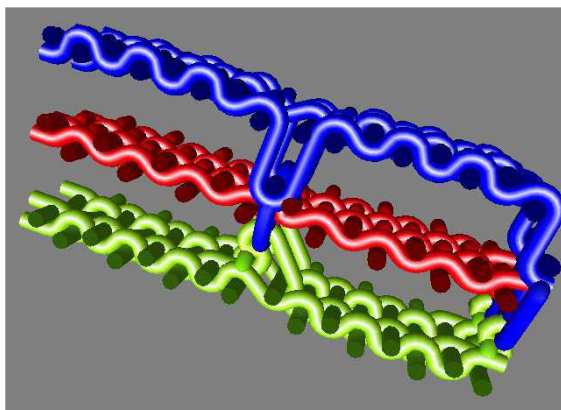
Vazba je dána množstvím jednotlivých strukturálních pórů a jejich rozmístěním. Pór typu I je tzv. úplné křížení, jenž je zakřížení typické pro plátňovou vazbu. V póru typu II se střídá jedna provazující a jedna neprovazující příze a dochází k částečnému křížení; v póru typu III provazují dvě osnovní nebo útkové nitě vedle sebe; v póru typu IV nedochází k provázání žádné nitě, což je charakteristické pro úplnou flotáž.

Plošná geometrie tkaniny je také definována použitou vazební technikou z hlediska počtu soustav osnovních a útkových nití ve tkanině. Z možných technik [22] lze zkonstruovat tkaninu:

- jednoduchou, kde tkaninu tvoří jedna soustava osnovních nití a jedna soustava nití útkových;
- vícesosvní, kde je při konstrukci použito dvou a více osnovních soustav a jedné útkové soustavy nití;
- víceútkovou, kde je naopak při konstrukci použito dvou a více útkových soustav a jedné osnovní soustavy nití, jejíž model je zachycen na obrázku č. 14;
- vícenásobnou, která je zkonstruována ze dvou a více osnovních soustav a ze dvou a více útkových soustav nití, zachycenou na obrázku č. 15 níže.



Obrázek 14 - Model víceútkové tkaniny, zdroj [25]



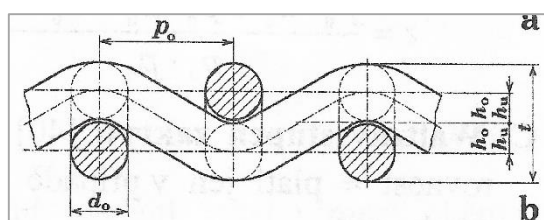
Obrázek 15 - Model vícenásobné tkaniny, zdroj [25]

5.2.4 Tloušťka tkaniny

Tloušťka tkaniny je definována jako kolmá vzdálenost mezi rubní a lící stranou textilie [26]. Experimentální měření tloušťky lze uskutečnit měřením na tloušťkoměru nebo z příčných řezů. Výpočet tloušťky je možné dle Peircova modelu popisujícím prostorovou geometrií, nakolik tloušťka souvisí se zvlněním nití a úhlem provázání. Vztah pro výpočet tloušťky, jenž předpokládá tkaninu vyrovnanou se zvlněním 0,5, je uveden níže. Model vyrovnané tkaniny je uveden na obrázku č. 16.

$$t = d_o + d_u \quad (5.9)$$

| | | |
|-------|------|---------------------|
| t | [mm] | tloušťka tkaniny |
| d_o | [mm] | průměr osnovní nitě |
| d_u | [mm] | průměr útkové nitě |



Obrázek 16 - Model vyrovnané tkaniny, zdroj [26]



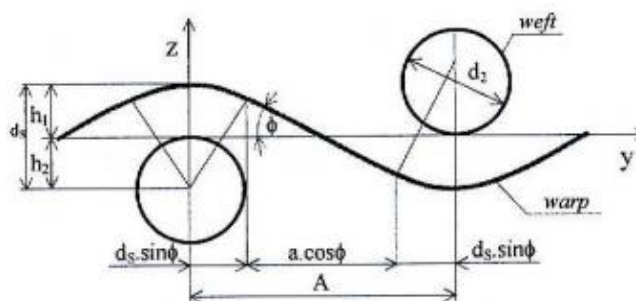
5.3 Prostorová geometrie tkaniny

Prostorovou geometrií je tkanina hodnocena z hlediska jejího vnitřního uspořádání nití v jednotlivých soustavách. Tato geometrie je ovlivněna typem a seřízením stroje a jeho rychlostí [22]. Mezi základní parametry hodnotící prostorovou geometrii lze zařadit zvlnění osnovní a útkové nitě ve vazné vlně, její délku, dále tvar této vazné vlny v provázání a úhel provázání.

5.3.1 Model vazné vlny

Tvar vazné vlny lze vyjádřit na základě matematické funkce pomocí vhodného modelu. Matematické funkce jsou definované v intervalu provázání, jak v oblasti křížení nití, tak i v místě flotáže. Mezi matematické vyjádření základních parametrů provázání nití ve tkanině patří vyjádření délky nitě ve vazné vlně a úhlu provázání [22].

Nejpoužívanější a nejznámější matematický model pro vyjádření parametrů provázání nití ve tkanině je Peircův model na obrázku č. 17. Model předpokládá, že nitě si zachovávají kruhový průřez a nedochází zde k deformaci průřezu vlivem silového působení. Osa provazující nitě je potom složena z kruhových úseků v místě vzájemného kontaktu osnovních a útkových nití a přímkových úseků, které je spojují (model „oblouk – úsečka - oblouk“) [31].



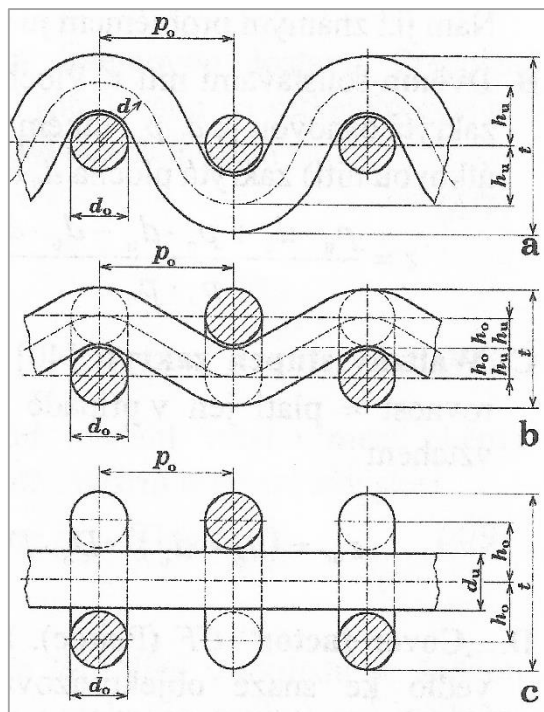
Obrázek 17 - Model vazné vlny dle Peirce, zdroj [22]

5.3.2 Zvlnění nití v tkanině

Vlna, tvořená osou nitě ve tkanině, má určitou výšku. Míra zvlnění osnovních a útkových nití je definována výškou vazné vlny osnovní nitě h_o a výškou vazné vlny útkové nitě h_u . Výška vazné vlny je dána vzdáleností osy příze (osovnicí, i útkové) od střední roviny tkaniny. Mezi zvlněním osnovy a útku je vztah, který plyne z kontaktu nití ve vazném bodě [29]. Celkové zvlnění je vyjádřeno jako součet zvlnění osnovní nitě h_o a zvlnění útkové nitě h_u .



Relativní zvlnění je poměr absolutního zvlnění osnovy či útku k celkovému zvlnění. Každá z hodnot relativního zvlnění leží v intervalu od 0 do 1 [26].



Obrázek 18 - Zvlnění nití ve tkanině, zdroj [26]

Na obrázku č. 18 jsou uvedeny dvě extrémní situace zvlnění v příčném řezu tkaninou a jedna základní definující shodu ve zvlnění osnovy a útku. Tloušťka tkaniny je v tomto případě vyjádřena vztahem $t = 3d_{str}$, při konstantním průměru všech nití a celkové zvlnění je rovno 1. Model b představuje vyrovnanou tkaninu, jejíž celkové zvlnění je rovno 0,5 a tloušťka je dána vztahem $t = 2d_{str}$. Při pořízení podélného řezu by měl podobnou geometrii jako řez příčný [26]. Poslední model c je analogií s modelem a. Tento model představuje také maximální zvlnění, tentokrát osnovních nití a útkové nitě jsou zcela rovné. Celkové zvlnění bude rovno 1. Dle práce Novikova [22] bylo zavedeno celkem 9 modelů.



III. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

6 Studované vzorky příze - tkanina

Vzhledem k tomu, že nelze hodnotit vliv konstrukčních parametrů tkaniny bez znalosti vstupního materiálu, byly studovány i základní charakteristiky vstupní příze. Mezi základní vstupní parametry příze patří její technologie výroby a další vybrané geometrické parametry a vlastnost. V následujících podkapitolách jsou podrobněji popsány vybrané parametry studované příze důležité pro technologii tkaní a pro následné hodnocení vlastností tkaniny.

6.1 Základní parametry příze

Experimentální sada vzorků tkanin byla vyrobena z hybridní příze jednoduché i skané. Tato hybridní příze obsahující 20 % kovových staplových vláken (nerezová ocel pod obchodním názvem BEKINOX, průměr 8 μm) ve směsi s nevodivým staplovým polypropylenovým vláknem (pod obchodním názvem TREVON) byla vypředena bavlnářskou, mykanou technologií, zahrnující proces předení, mykání, protahování, předpřádání a dopřádání na prstencovém dopřádacím stroji [32]. Pramen se staplovým kovovým vláknem byl do předního procesu začleněn ve fázi protahování.

Hybridní příze obsahovala podíl vodivé komponenty k zajištění zvýšené elektrické vodivosti a tím dosažení stínící účinnosti při zachování ostatních vlastností. U studované hybridní příze byly známy některé parametry vláknenných komponent. Jedná se o následující parametry převzaté z práce V. ŠAFÁŘOVÁ [32], kde polypropylenová vlákna byla o průměrné délce 49,73 mm a nerezová vlákna o délce 45,02 mm. Dále byly známy průměrné hodnoty pro jednotlivé komponenty příze, jež jsou uvedeny v tabulce č. 3 níže.

Tabulka 3 - Parametry vláken v hybridní přízi

| | Jemnost [dtex] | Pevnost [cN] | Poměrná pevnost [cN/tex] | Tažnost [%] | Youngův modul pružnosti [cN/dtex] |
|--------------------|---------------------------|-------------------------|---|------------------------|--|
| PP | 2,20 | 8,21 | 37,49 | 73,29 | 29,19 |
| Nerez. ocel | 3,85 | 5,52 | 14,35 | 1,29 | 111,56 |



Mezi základní charakteristiky vstupní hybridní příze k dalšímu studiu byla vybrána jemnost, zákrut, objemová nesejnoměrnost a chlupatost, jakožto parametry ovlivňující proces tkaní i výslednou schopnost odstínit elektromagnetické záření.

6.1.1 Ověření jemnosti

Vzhledem k tomu, že parametr jemnosti a procentuální podíl byl u jednotlivých komponent příze znám, byla pouze ověřena jemnost celé příze pomocí gravimetrické metody dle normy ČSN EN ISO 2060 (80 25 02) [33]. Měření bylo provedeno celkem pětkrát u každé příze a následně byla data zpracována statistickou metodou dle Hornova postupu [34], nakolik se jednalo o soubor dat malého výběru. Výsledný odhad střední hodnoty je zastoupen pivotovou polosumou a dále je uveden 95% interval spolehlivosti pro tuto hodnotu. Zjištěné hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka 4 - Hodnoty jemnosti jednoduché a skané příze

| Jemnost | | |
|----------------------------------|------------------|---------------|
| | Jednoduchá příze | Skaná příze |
| Pivotová polosuma [tex] | 19,870 | 37,665 |
| 95% Interval spolehlivosti [tex] | ±0,187 | ±0,154 |

Z experimentálně získaných dat byla vypočtena a ověřena hodnota jemnosti po zaokrouhlení pro jednoduchou přízi 20 tex a pro skanou přízi 40 tex, což byly hodnoty známy před samotným experimentem. Jemnost příze jakožto parametr ovlivňující elektromagnetické stínění byl následně sledován z hlediska této schopnosti.

6.1.2 Zákrut hybridní příze

Při studiu základních charakteristik byla měřena hodnota zákrutu pro jednoduchou a skanou přízi dle normy ČSN EN ISO 2061 (800709) [35]. Přímé měření zákrutu bylo provedeno celkem 50x na jednoduché přízi a 50x na skané přízi. U jednoduché příze byl určován zákrut přední a u dvojmoskané příze byl určován skací zákrut. Příze byla upnuta do čelistí zákrutoměru při upínací délce 0,5m a následně byla data zpracována. Hodnota zákrutu je vyjádřena



průměrnou hodnotou, uvedenou v tabulce č. 5 zvlášť pro skanou a jednoduchou přízi, včetně 95% intervalu spolehlivosti.

Tabulka 5 - Hodnoty zákrutu pro jednoduchou a skanou přízi

| statistické charakteristiky | jednoduchá příze | skaná příze |
|-------------------------------|------------------|----------------|
| průměrná hodnota [m^{-1}] | 1501,720 | 189,520 |
| počet měření [-] | 50 | 50 |
| 95% interval [m^{-1}] | $\pm 16,714$ | $\pm 2,597$ |

6.1.3 Nestejnoměrnost a chlupatost hybridní příze

Mezi další hodnocené základní charakteristiky byla vybrána nestejnomyrnost a chlupatost příze, jakožto parametry ovlivňující proces tkaní. Vzhledem k tomu, že příze obsahovala staplové kovové vlákno a mohlo by dojít při měření k poškození univerzitního vybavení, byly hodnoty příze naměřeny prostřednictvím externí švýcarské laboratoře USTER TECHNOLOGIES. Parametr objemové nestejnomyrnosti příze byl zvolen z důvodu materiálového složení, kdy studovaná délková textilie není látkově homogenní a obsahuje dvě různé komponenty. Měření objemové nestejnomyrnosti a chlupatosti bylo provedeno na přístroji USTER® TESTER 6 optickou metodou. Z naměřených dat byla vypočítána střední hodnota a 95% interval spolehlivosti, jenž jsou uvedeny v tabulce č. 6. Chlupatost H [-] odpovídá celkové délce vyčnívajících vláken v měřicím poli o délce 1 cm a je poměr dvou délek, tudíž je to parametr bezrozměrný. Parametr sh [-] je pak odchylka chlupatosti [36].

Tabulka 6 - Hodnoty chlupatosti a nestejnomyrnosti jednoduché a skané příze

| chlupatost / nestejnomyrnost | jednoduchá příze | | | skaná příze | | |
|---------------------------------------|------------------|------------|-------------------|-------------|------------|-------------------|
| | H [-] | sh [-] | CV2D 0,3mm [%] | H [-] | sh [-] | CV2D 0,3mm [%] |
| střední hodnota | 5,21 | 1,36 | 12,81 | 7,10 | 1,81 | 10,40 |
| 95% interval spolehlivosti | $\pm 0,11$ | $\pm 0,04$ | $\pm 0,24$ | $\pm 0,14$ | $\pm 0,06$ | $\pm 0,15$ |

Hodnota objemové nestejnomyrnosti $CV2D$ 0,3mm [%] je vztažena na délku 0,3 mm příze. Z uvedených hodnot chlupatosti studované hybridní příze vyplývá, že u skané příze dochází k vyšší chlupatosti způsobené pravděpodobně při procesu přesoukání. Vzhledem k obsahu elektricky vodivé komponenty může docházet vlivem elektrostatického náboje



k vyššímu odstávání konců vláken nevodivé složky. Tento jev může následně ovlivnit chování tkaniny z hlediska elektrické vodivosti a následné stínící účinnosti.

6.2 Parametry vzorků tkaniny

V této kapitole je studován experimentální soubor vzorků tkanin vyrobených z hybridní příze z hlediska konstrukčních parametrů. K hodnocení vlivu konstrukčních parametrů tkaniny na vlastnost odstínit elektromagnetické pole, byl předložen soubor obsahující celkem 31 vzorků tkanin. Soubor sestával ze vzorků v základních vazbách a v různých dostavách útkových nití i v různých vazebních technikách. Před hodnocením elektrické vodivosti a stínící účinnosti vůči elektromagnetickému záření bylo nejprve nutné identifikovat jednotlivé vzorky plošné textilie z pohledu jejich plošné a prostorové geometrie.

Pomocí makroskopické obrazové analýzy a textilní lupy byla určena vazba tkaniny, střída vazby včetně počtu provazujících a flotážních úseků, dostava osnovy D_o [cm^{-1}] a dostava útku D_u [cm^{-1}]. Na základě prvotního rozboru vzorků byl soubor rozdělen do tří skupin podle vazební techniky. Následně byla v každé skupině definována vazba, velikost střídy a dostava osnovních a útkových nití. Vzorky byly seřazeny nejprve podle velikosti střídy vazby a následně dle jednotlivých dostav útkových nití. Dostava osnovy byla u jednotlivých vzorků totožná s výjimkou posledního vzorku jednoduché tkaniny tkané na žakárském tkacím stroji. V osnově i útku byly použity u všech vzorků dvojmo skané nitě až na jeden vzorek (P 15 20tex), kde byla v útkové soustavě použita nit jednoduchá o jemnosti 20 tex. V tabulce č. 7 je uveden přehled vzorků 1. a 2. skupiny včetně jejich základních parametrů.

Do první skupiny bylo zařazeno 20 vzorků jednoduché tkaniny v základní plátnové, keprové i atlasové vazbě. Střída keprové a atlasové vazby byla definována v rozmezí od 4 do 10 vazných bodů. Dále se vzorky od sebe lišily dostavou útku od 7 do 40 nití/cm. Dostava osnovy byla u všech vzorků shodná až na již zmiňovaný vzorek zhotovený na žakárském stroji. Pro lepší přehlednost byly jednotlivým vazbám přiřazeny barvy (plátno – zelená, kepr – oranžová, atlas – modrá) a střídy vazeb byly dále barevně odstíněny.

Druhá skupina obsahovala vzorky dvojútkové tkaniny v základní keprové a atlasové vazbě se stejnou velikostí střídy. Vzorky se od sebe lišily dostavou útku i osnovy, nakolik byly zhotoveny na tkacích strojích odlišného typu.



Tabulka 7 - Soubor experimentálních tkanin - 1. a 2. skupina

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Vazba | Dostava osnovy [cm ⁻¹] | Dostava útku [cm ⁻¹] | Jemnost příze o. [tex] | Jemnost příze ú. [tex] |
|---|-----------------|---------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | Plátno 1/1 | 21 | 7 | 40 | 40 |
| | P 11 | Plátno 1/1 | 21 | 11 | 40 | 40 |
| | P 15 | Plátno 1/1 | 21 | 15 | 40 | 40 |
| | P 15 20tex | Plátno 1/1 | 21 | 15 | 40 | 20 |
| | K 1/3 15 | Kepr 1/3 (S) | 21 | 15 | 40 | 40 |
| | K 1/3 18 | Kepr 1/3 (S) | 21 | 18 | 40 | 40 |
| | K 1/3 22 | Kepr 1/3 (S) | 21 | 22 | 40 | 40 |
| | K 1/4 10 | Kepr 1/4 (Z) | 21 | 10 | 40 | 40 |
| | K 1/4 15 | Kepr 1/4 (Z) | 21 | 15 | 40 | 40 |
| | K 1/4 20 | Kepr 1/4 (Z) | 21 | 20 | 40 | 40 |
| | K 1/7 22 | Kepr 1/7 (S) | 21 | 22 | 40 | 40 |
| | K 1/9 20 | Kepr 1/9 (Z) | 21 | 20 | 40 | 40 |
| | A 1/4 10 | Atlas 1/4 (2) | 21 | 10 | 40 | 40 |
| | A 1/4 15 | Atlas 1/4 (2) | 21 | 15 | 40 | 40 |
| | A 1/4 22 | Atlas 1/4 (2) | 21 | 22 | 40 | 40 |
| | A 1/7 22 | Atlas 1/7 (5) | 21 | 22 | 40 | 40 |
| | A 1/7 30 | Atlas 1/7 (5) | 21 | 30 | 40 | 40 |
| | A 1/7 35 | Atlas 1/7 (5) | 21 | 35 | 40 | 40 |
| | A 1/9 22 | Atlas 1/9 (3) | 21 | 22 | 40 | 40 |
| | A 1/9 30_j. | Atlas 1/9 (3) | 28 | 30 | 40 | 40 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | Kepr 1/9 (Z) | 21 | 30 | 40 | 40 |
| | A 1/9 30 | Atlas 1/9 (3) | 21 | 30 | 40 | 40 |
| | A 1/9 40 | Atlas 1/9 (3) | 28 | 40 | 40 | 40 |
| | A 1/9 40 -reg. | Atlas 1/9 (3) | 28 | 40 | 40 | 40 |
| | A 9/1 40 +reg. | Atlas 9/1 (3) | 28 | 40 | 40 | 40 |

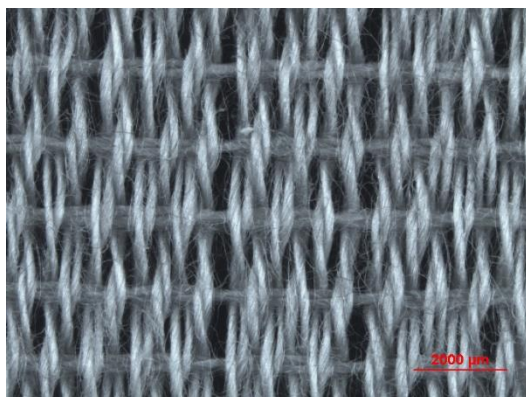
Třetí skupina byla tvořena 6 vzorky dvojnásobné tkaniny v základní plátňové vazbě. Vzorky se od sebe lišily pouze dostavou útku. Dostava osnovních nití byla u všech vzorků této skupiny totožná stejně jako jemnost osnovních a útkových nití. Každý ze vzorků sestával z části dutinné tkaniny a z části spojkové tkaniny, kdy byla vodivost a EMS hodnoceno pro každou část zvlášť. Přehled vzorků třetí skupiny je uveden v tabulce č. 8 včetně definovaných parametrů.



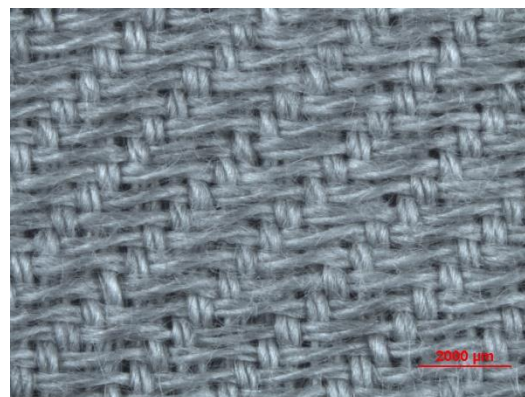
Tabulka 8 - Sada experimentální tkanin - 3. skupina

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Vazba | Dostava osnovy [cm ⁻¹] | Dostava útku [cm ⁻¹] | Jemnost příze o. [tex] | Jemnost příze ú. [tex] |
|---------------------------------|-----------------|------------|------------------------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10 | Plátno 1/1 | 14 | 10 | 40 | 40 |
| | P 14 | Plátno 1/1 | 14 | 14 | 40 | 40 |
| | P 16 | Plátno 1/1 | 14 | 16 | 40 | 40 |
| | P 18 | Plátno 1/1 | 14 | 18 | 40 | 40 |
| | P 20 | Plátno 1/1 | 14 | 20 | 40 | 40 |
| | P 24 | Plátno 1/1 | 14 | 24 | 40 | 40 |

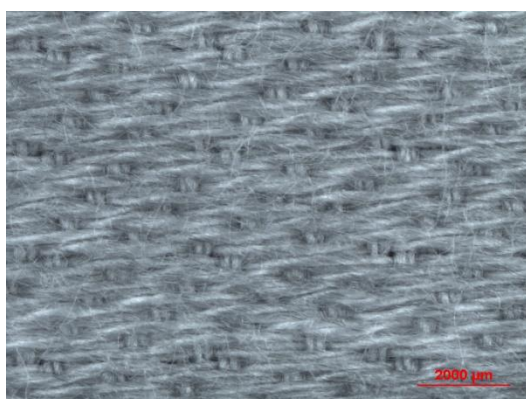
V průběhu základního rozboru experimentálních vzorků byly pořízeny snímky jednotlivých vzorků. Vybraní zástupci jednotlivých skupin jsou uvedeny na obrázcích č. 19 až č. 24. Snímky kompletního souboru experimentálních tkanin jsou následně v Příloze č. 1. této práce.



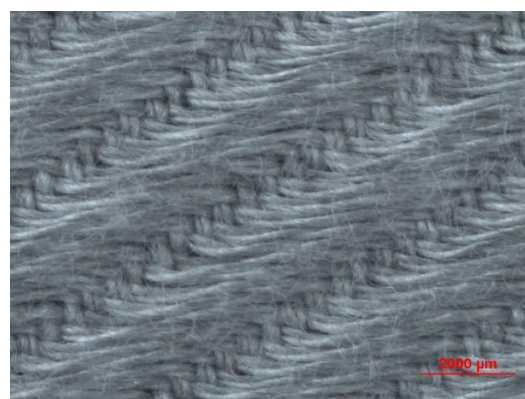
Obrázek 19 - Vzorek P 7



Obrázek 20 - Vzorek K 1/4 20

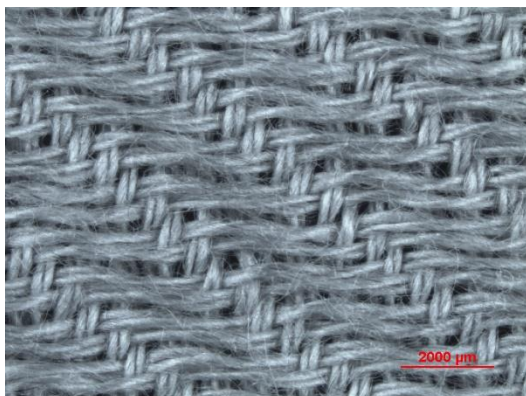


Obrázek 21 - Vzorek A 1/7 35

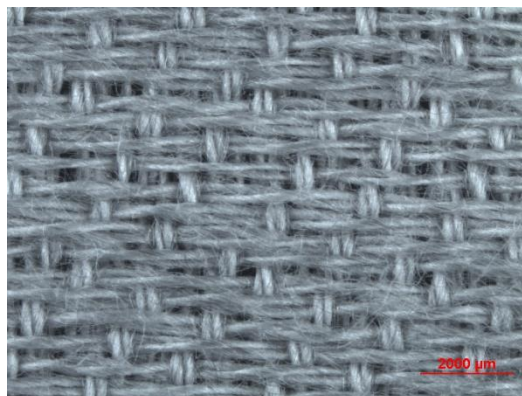


Obrázek 22 - Vzorek K 1/9 30





Obrázek 23 - Vzorek K 1/7 22



Obrázek 24 - Vzorek A 1/7 22

6.2.1 Tloušťka vzorků tkanin

Pro účely dalšího hodnocení byla u vzorků měřena tloušťka vzorků daného souboru experimentálních tkanin, jakožto parametr ovlivňující její vlastnosti. Tloušťka hodnocených tkanin byla měřena dle normy ČSN EN ISO 5084 (80 0844) [37]. Měření bylo provedeno pomocí tloušťkoměru pro stanovení tloušťky plošných textilií za daného přitlaku 1kPa, tak aby nedošlo k deformacím tkaniny, zejména v místech flotáží. Pro každou tkaninu byla její tloušťka měřena na 10 odlišných místech a data byla následně statisticky zpracována metodou pro analýzu malých výběrů dle Hornova postupu. Výsledné hodnoty tloušťky vzorků 1. a 2. skupiny jsou uvedeny v tabulce č. 9 a hodnoty tloušťky vzorků 3. skupiny jsou v tabulce č. 10 níže.

Tabulka 9 - Hodnoty tloušťky vzorků - 1. a 2. skupina

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Vazba | Tloušťka vzorku [mm] | |
|--------------------------------|-----------------|--------------|----------------------|----------------------------|
| | | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | Plátno 1/1 | 0,515 | ±0,007 |
| | P 11 | Plátno 1/1 | 0,455 | ±0,007 |
| | P 15 | Plátno 1/1 | 0,425 | ±0,007 |
| | P 15 20tex | Plátno 1/1 | 0,385 | ±0,007 |
| | K 1/3 15 | Kepr 1/3 (S) | 0,595 | ±0,007 |
| | K 1/3 18 | Kepr 1/3 (S) | 0,575 | ±0,007 |
| | K 1/3 22 | Kepr 1/3 (S) | 0,565 | ±0,007 |
| | K 1/4 10 | Kepr 1/4 (Z) | 0,655 | ±0,013 |
| | K 1/4 15 | Kepr 1/4 (Z) | 0,670 | ±0,013 |
| | K 1/4 20 | Kepr 1/4 (Z) | 0,670 | ±0,013 |
| | K 1/7 22 | Kepr 1/7 (S) | 0,825 | ±0,020 |



| | | | | |
|---|----------------|---------------|-------|--------|
| | K 1/9 20 | Kepr 1/9 (Z) | 0,790 | ±0,013 |
| | A 1/4 10 | Atlas 1/4 (2) | 0,620 | ±0,013 |
| | A 1/4 15 | Atlas 1/4 (2) | 0,630 | ±0,013 |
| | A 1/4 22 | Atlas 1/4 (2) | 0,610 | ±0,013 |
| | A 1/7 22 | Atlas 1/7 (5) | 0,790 | ±0,013 |
| | A 1/7 30 | Atlas 1/7 (5) | 0,780 | ±0,013 |
| | A 1/7 35 | Atlas 1/7 (5) | 0,810 | ±0,013 |
| | A 1/9 22 | Atlas 1/9 (3) | 0,805 | ±0,007 |
| | A 1/9 30_j. | Atlas 1/9 (3) | 0,850 | ±0,013 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | Kepr 1/9 (Z) | 1,315 | ±0,020 |
| | A 1/9 30 | Atlas 1/9 (3) | 1,275 | ±0,020 |
| | A 1/9 40 | Atlas 1/9 (3) | 1,250 | ±0,013 |
| | A 1/9 40 -reg. | Atlas 1/9 (3) | 1,170 | ±0,027 |
| | A 9/1 40 +reg. | Atlas 9/1 (3) | 1,325 | ±0,020 |

Tabulka 10 - Hodnoty tloušťky vzorků - 3. skupina

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Vazba | Tloušťka vzorku - dutinná [mm] | | Tloušťka vzorku - spojková [mm] | |
|--|--------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10 | Plátno 1/1 | 0,775 | ±0,007 | 0,735 | ±0,007 |
| | P 14 | Plátno 1/1 | 0,775 | ±0,007 | 0,735 | ±0,007 |
| | P 16 | Plátno 1/1 | 0,775 | ±0,007 | 0,730 | ±0,013 |
| | P 18 | Plátno 1/1 | 0,810 | ±0,040 | 0,800 | ±0,027 |
| | P 20 | Plátno 1/1 | 0,815 | ±0,020 | 0,805 | ±0,020 |
| | P 24 | Plátno 1/1 | 0,880 | ±0,013 | 0,840 | ±0,013 |

6.2.2 Číselné vyjádření vazby

Pro porovnatelnost jednotlivých vzorků z hlediska vazby bylo vhodné číselně tento parametr vyjádřit pomocí opravného činitele provázanosti f^m , jenž je vyjádřením vlivu neprovázanosti. Lze tedy předpokládat, že čím nižší je f^m , tím je tkanina více provázaná a struktura více soudržná. Přičemž nejvyšší hodnota činitele je charakteristická pro vazbu plátnovou, kde $f^m=1$. Dále byl vypočítán pro každou vazbu koeficient provázanosti, jenž je převrácenou hodnotou koeficientu neprovázanosti neboli stupeň provázání f . Koeficient neprovázanosti je vyjádřením flotáže k velikosti střídy. Dle teoretických předpokladů u více provázané tkaniny (s nejvyšším opravným činitelem provázanosti) dochází k vyššímu zvlnění



nití, což by mohlo ovlivnit stínící účinnost tkaniny. Z tohoto důvodu bylo dílčím cílem experimentu tento předpoklad potvrdit či naopak vyvrátit.

Tabulka 11 - Číselné charakteristiky vazeb

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Vazba | K [-] | f [-] | m [-] | f ^m [-] | Průměrná hodnota počtu přechodů na střihu 10x10 nití |
|---|---------------------|---------------|-------|-------|-------|--------------------|--|
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 11 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 15 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 15 20tex | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | K 1/3 15 | Kepr 1/3 (S) | 0,48 | 2 | 0,39 | 1,31 | 48 |
| | K 1/3 18 | Kepr 1/3 (S) | 0,48 | 2 | 0,39 | 1,31 | 48 |
| | K 1/3 22 | Kepr 1/3 (S) | 0,48 | 2 | 0,39 | 1,31 | 48 |
| | K 1/4 10 | Kepr 1/4 (Z) | 0,40 | 2,5 | 0,39 | 1,43 | 40 |
| | K 1/4 15 | Kepr 1/4 (Z) | 0,40 | 2,5 | 0,39 | 1,43 | 40 |
| | K 1/4 20 | Kepr 1/4 (Z) | 0,40 | 2,5 | 0,39 | 1,43 | 40 |
| | K 1/7 22 | Kepr 1/7 (S) | 0,24 | 4 | 0,39 | 1,72 | 24 |
| | K 1/9 20 | Kepr 1/9 (Z) | 0,20 | 5 | 0,39 | 1,87 | 20 |
| | A 1/4 10 | Atlas 1/4 (2) | 0,40 | 2,5 | 0,42 | 1,47 | 40 |
| | A 1/4 15 | Atlas 1/4 (2) | 0,40 | 2,5 | 0,42 | 1,47 | 40 |
| | A 1/4 22 | Atlas 1/4 (2) | 0,40 | 2,5 | 0,42 | 1,47 | 40 |
| | A 1/7 22 | Atlas 1/7 (5) | 0,26 | 4 | 0,42 | 1,79 | 26 |
| | A 1/7 30 | Atlas 1/7 (5) | 0,26 | 4 | 0,42 | 1,79 | 26 |
| | A 1/7 35 | Atlas 1/7 (5) | 0,26 | 4 | 0,42 | 1,79 | 26 |
| | A 1/9 22 | Atlas 1/9 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| | A 1/9 30 jednoduchá | Atlas 1/9 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | Kepr 1/9 (Z) | 0,20 | 5 | 0,39 | 1,87 | 20 |
| | A 1/9 30 | Atlas 1/9 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| | A 1/9 40 | Atlas 1/9 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| | A 1/9 40 -reg. | Atlas 1/9 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| | A 9/1 40 +reg. | Atlas 9/1 (3) | 0,20 | 5 | 0,42 | 1,97 | 20 |
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 14 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 16 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 18 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 20 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |
| | P 24 | Plátno 1/1 | 1 | 1 | 0,45 | 1 | 100 |

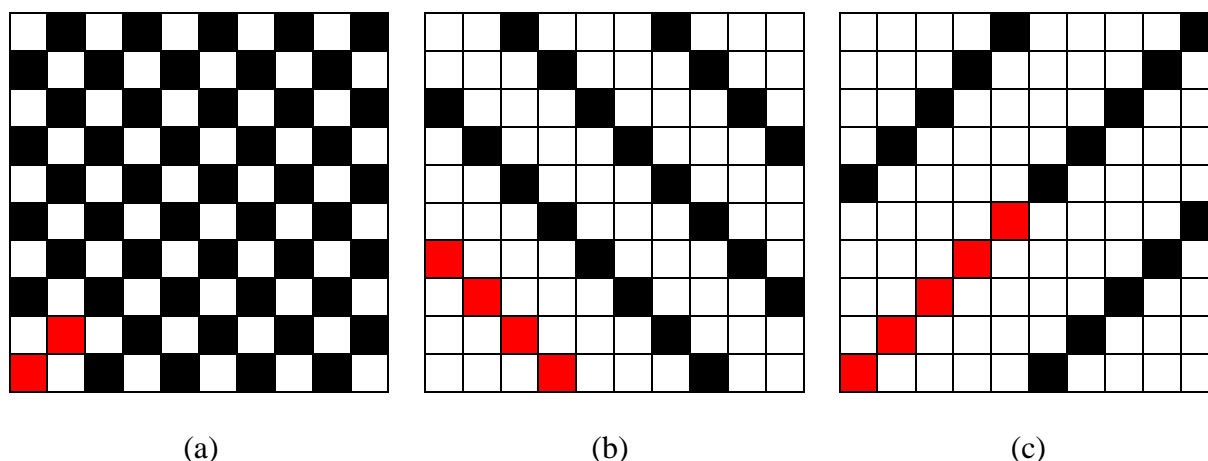


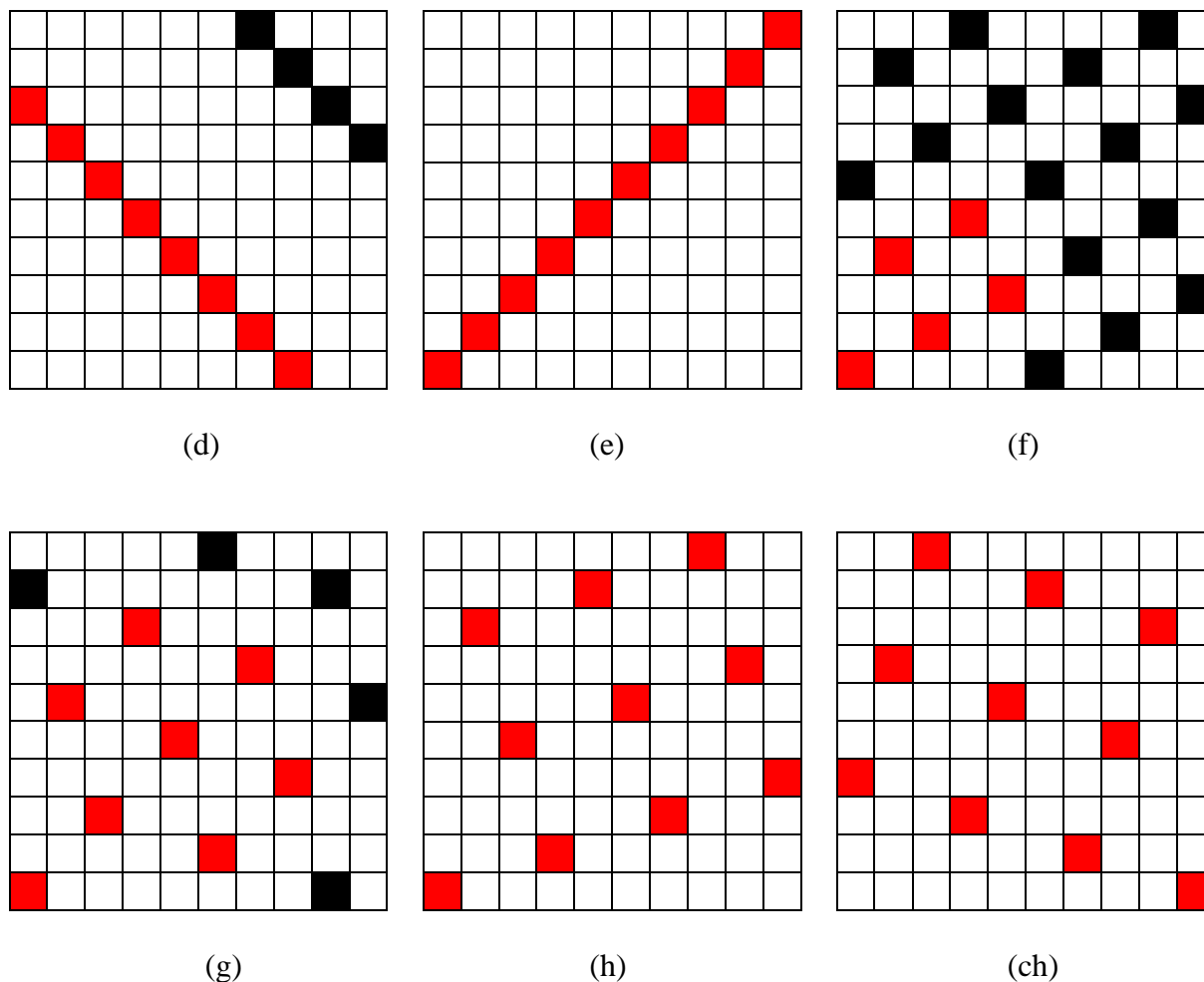
V tabulce č. 11 výše jsou uvedeny číselné charakteristiky vazeb - koeficient provázanosti K , stupeň provázání f , vazební exponent m a opravný činitel provázanosti f^n . Všechny tyto veličiny jsou bezrozměrné. Dále byly definovány jednotlivé vazby z hlediska počtu přechodů pro osnovní a útkovou soustavu nití, přepočítané na stejnou velikost střídy. V tomto případě byla zvolena nejvyšší střída 10 x 10 vazných bodů, kdy jednotlivé střídy vazby (červené buňky) byly dále rozkresleny na plochu o stejné velikosti (černé buňky). V tabulce č. 11 jsou také uvedeny průměrné hodnoty počtu přechodů v osnovní a útkové soustavě, jejichž výpočet je vyjádřen vztahem

$$\bar{x} = \frac{\sum ppo + \sum ppu}{2} \quad (6.1)$$

\bar{x} průměrná hodnota přechodů
 ppo počet přechodů v osnovní mezeře
 ppu počet přechodů v útkové mezeře

Pro kompletní představu výpočtu průměrných hodnot u jednotlivých stříd vazeb studovaných vzorků jsou vyjádřeny modely (a) – (ch), které jsou uvedeny na obrázku č. 25 níže. Červenými buňkami jsou vyjádřeny základní střídy vazeb s následným rozkreslením po střídě 10 x 10 nití v podobě černých buněk, resp. osnovních vazných bodů.

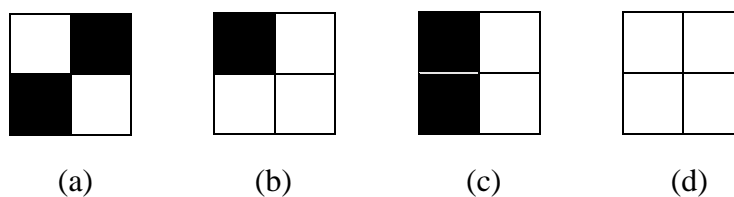




Obrázek 25 - Střídy vazby: (a) Vzorky v plátňové vazbě, (b) Vzorky K 1/3 (S), (c) Vzorky K 1/4 (Z), (d) Vzorky K 1/7 (S), (e) Vzorky K 1/9 (Z), (f) Vzorky A 1/4 (2), (g) Vzorky A 1/7 (5), (h) Vzorky A 9/1 (3), (ch) Vzorky A 1/9 (3)

6.2.3 Strukturální póry provázání

Z hlediska plošné geometrie byl definován počet strukturálních pórů provázání pro všechny typy vazby. Tyto póry jsou vyjádřeny z pohledu zakreslení ve vzornici na obrázku č. 26 níže. Vyjádření všech pórů rozkreslených po střídě dané vazby lze sledovat i na obrázku č. 25. Následně byla pro všechny vzorky spočítána relativní četnost těchto pórů dle vztahu 5.8.



Obrázek 26 - Typy strukturálních pórů provázání z pohledu vzornice: (a) typ I, (b) typ II, (c) typ III, (d) typ IV.



$$rp1 = \frac{\sum p1}{n_o \cdot n_u} \quad rp2 = \frac{\sum p2}{n_o \cdot n_u} \quad rp3 = \frac{\sum p3}{n_o \cdot n_u} \quad rp4 = \frac{\sum p4}{n_o \cdot n_u} \quad (5.8)$$

rp relativní četnost pórů
 n_o počet osnovních nití
 n_u počet útkových nití

V tabulce č. 12 jsou uvedeny četnosti jednotlivých typů pórů včetně relativní četnosti výskytu pro dané vazby. Z tabulky je zřejmé, že plátňová vazba obsahuje pouze typ I., kdy se jedná o úplné křížení. V keprové vazbě byly definovány 3 typy strukturálních pórů v poměru daném velikostí střídy. Póry typu I. a typu II. definují počet přechodů a proto se vzrůstající velikostí střídy jejich relativní četnost klesá.

Tabulka 12 – Relativní četnost strukturálních pórů

| Skupina tkanin | Označení vzorku | p1 | rp1 | p2 | rp2 | p3 | rp3 | p4 | rp4 |
|--------------------------------|---------------------|-----|------|----|------|----|-----|----|------|
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 11 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 15 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 15 20 tex | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | K 1/3 15 | 24 | 0,24 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 26 | 0,26 |
| | K 1/3 18 | 24 | 0,24 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 26 | 0,26 |
| | K 1/3 22 | 24 | 0,24 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 26 | 0,26 |
| | K 1/4 10 | 20 | 0,20 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 40 | 0,40 |
| | K 1/4 15 | 20 | 0,20 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 40 | 0,40 |
| | K 1/4 20 | 20 | 0,20 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 40 | 0,40 |
| | K 1/7 22 | 12 | 0,12 | 25 | 0,25 | 0 | 0 | 63 | 0,63 |
| | K 1/9 20 | 10 | 0,10 | 20 | 0,20 | 0 | 0 | 70 | 0,70 |
| | A 1/4 10 | 0 | 0 | 80 | 0,80 | 0 | 0 | 20 | 0,20 |
| | A 1/4 15 | 0 | 0 | 80 | 0,80 | 0 | 0 | 20 | 0,20 |
| | A 1/4 22 | 0 | 0 | 80 | 0,80 | 0 | 0 | 20 | 0,20 |
| | A 1/7 22 | 0 | 0 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 50 | 0,50 |
| | A 1/7 30 | 0 | 0 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 50 | 0,50 |
| | A 1/7 35 | 0 | 0 | 50 | 0,50 | 0 | 0 | 50 | 0,50 |
| | A 1/9 22 | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |
| | A 1/9 30 jednoduchá | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | 10 | 0,10 | 20 | 0,20 | 0 | 0 | 70 | 0,70 |
| | A 1/9 30 | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |
| | A 1/9 40 | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |
| | A 1/9 40 -reg. | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |
| | A 9/1 40 +reg. | 0 | 0 | 40 | 0,40 | 0 | 0 | 60 | 0,60 |



| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|------|-----|---|---|---|---|---|---|---|
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 14 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 16 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 18 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 20 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | P 24 | 100 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

7 Elektrická vodivost vzorků tkaniny

Dostatečně vysoká elektrická vodivost plošné textilie je jedním z předpokladů pro její schopnost odstínit elektromagnetické záření. Z tohoto hlediska byla měřena a hodnocena nejprve elektrická vodivost souboru experimentálních tkanin, resp. jejich plošná a objemová rezistivita. Sledován byl vliv několika parametrů – tloušťky tkaniny, velikosti dostavy útku, použité vazebné techniky z hlediska více vrstev materiálu. Dále byl hodnocen vliv použité vazby vyjádřené koeficientem provázanosti, resp. neprovázanosti a poměru strukturálních pórů provázání.

7.1 Měření elektrické vodivosti

Pro vyhodnocení parametru elektrické vodivosti byl zvolen parametr plošné a objemové rezistivity, kterou je možné stanovit na základě naměřené hodnoty rezistance. Elektrická vodivost je převrácenou hodnotou rezistivity. Měření plošného a objemového odporu probíhalo dle normy ČSN EN 61340-2-3 [38] pomocí soustavy obsahující koncentrický a cylindrický elektrodový systém, jenž je zachycen na obrázcích č. 27. a 28 níže. Měření probíhalo za podmínek daných normou tedy při teplotě vzduchu = 25°C a vlhkosti = 32%.

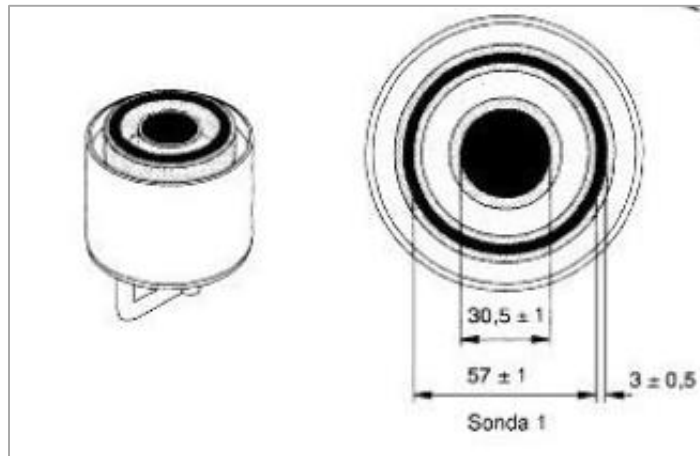
Pro stanovení plošné rezistivity textilie je nutné znát průměr vnitřní kontaktní elektrody a vzdálenost mezi vnitřní kruhovou a vnější prstencovou elektrodou. Nejprve byl vzorek umístěn mezi přitlačnou koncentrickou elektrodu skládající se z vnější prstencové elektrody a vnitřní kruhové elektrody a izolační desku. Po přiložení elektrody a uplynutí 60 sec. byla odečtena hodnota plošné rezistance. Dále je nutné naměřený plošný odpor přepočítat podle vztahu



$$\rho_s = R_x (d_1 + g) \cdot \pi / g \quad (7.1)$$

| | | |
|----------|--------------|------------------------------------|
| ρ_s | [Ω] | plošná rezistivita |
| R_x | [Ω] | měřená plošná rezistance |
| d_1 | [m] | průměr vnitřní kontaktní elektrody |
| g | [m] | vzdálenost mezi kontakty elektrod |

Kde platí: $d_1 = 30,5$ mm; $d_2 = 57$ mm; $g = (d_2 - d_1) / 2$



Obrázek 27 - Soustava pro měření plošné rezistance, zdroj [38]

Pro zjištění objemové rezistivity je nutné znát plochu kruhové elektrody a tloušťku měřeného vzorku. Měřený vzorek byl umístěn mezi přitlačnou koncentrickou elektrodu sestávající pouze z vnitřní kruhové elektrody a kovovou vodivou desku. Po přiložení a po uplynutí 60 sec. byla odečtena hodnota objemové rezistance a dále je nutno naměřený vnitřní odpor přepočítat podle vztahu

$$\rho_v = R_x \frac{K_v}{t} \quad (7.2)$$

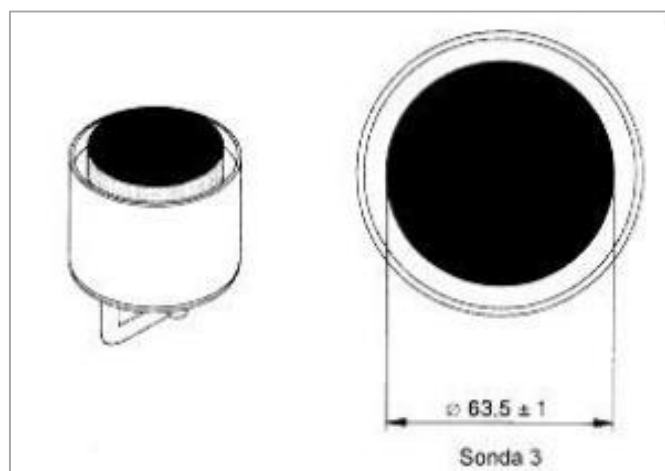
| | | |
|----------|---------------|--|
| ρ_s | [Ω m] | objemová rezistivita |
| R_x | [Ω] | měřená vnitřní rezistance |
| K_v | [m] | efektivní plocha cylindrické elektrody |
| t | [m] | tloušťka vzorku |

Kde efektivní plocha cylindrické elektrody je vypočítána dle vztahu

$$K_V = \pi \left(\frac{D_1}{2} + B \frac{g}{2} \right)^2 \quad (7.3)$$



D_I [m] průměr cylindrické elektrody, $D_I = 63,5$ mm
 g [m] vzdálenost mezi kontakty elektrod
 B koeficient plochy = 0



Obrázek 28 - Soustava pro měření objemové rezistance, zdroj [38]

7.2 Vyhodnocení plošné rezistivity

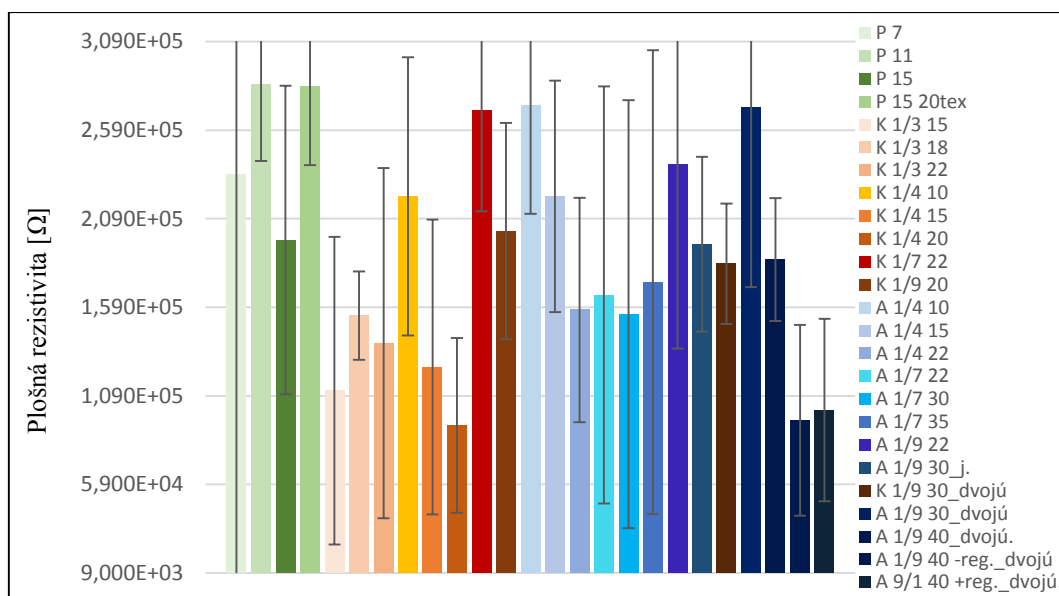
Plošný odpor neboli rezistance byl měřen vždy na 10 odlišných místech každého vzorku textilie a následně byla data přepočítána dle vzorce 7.1. Výsledné hodnoty plošné rezistivity byly zpracovány metodou pro analýzu malých výběrů dle Hornova postupu. V tabulce č. 13 jsou uvedeny pivotové polosумы, které představují odhad polohy střední hodnoty plošné rezistivity a 95% intervaly spolehlivosti této hodnoty pro vzorky jednoduché a dvojútkové tkaniny.

Tabulka 13 - Hodnoty plošné rezistivity

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Plošná rezistivita - ρ_s [Ω] | |
|--------------------------------------|-----------------|--|----------------------------|
| | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | 234028,35 | $\pm 235652,56$ |
| | P 11 | 284562,35 | $\pm 42926,93$ |
| | P 15 | 197002,31 | $\pm 87094,20$ |
| | P 15 20tex | 283805,11 | $\pm 44603,88$ |
| | K 1/3 15 | 111891,38 | $\pm 86801,76$ |
| | K 1/3 18 | 154269,98 | $\pm 24945,43$ |
| | K 1/3 22 | 138710,21 | $\pm 98880,92$ |
| | K 1/4 10 | 221654,18 | $\pm 78550,39$ |
| | K 1/4 15 | 125266,56 | $\pm 83262,31$ |



| | | | |
|---|------------------------|-----------|------------|
| | K 1/4 20 | 92346,75 | ±49358,00 |
| | K 1/7 22 | 270330,34 | ±57187,40 |
| | K 1/9 20 | 201991,81 | ±61040,08 |
| | A 1/4 10 | 272825,09 | ±60977,72 |
| | A 1/4 15 | 221581,57 | ±65329,31 |
| | A 1/4 22 | 157521,98 | ±63326,75 |
| | A 1/7 22 | 165919,59 | ±117700,17 |
| | A 1/7 30 | 155130,96 | ±120777,46 |
| | A 1/7 35 | 173247,72 | ±130928,87 |
| | A 1/9 22 | 239392,32 | ±103662,13 |
| | A 1/9 30_jednoduchá | 194549,05 | ±49294,94 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | 183569,04 | ±34002,001 |
| | A 1/9 30 | 271689,23 | ±101271,52 |
| | A 1/9 40 | 185871,89 | ±34722,65 |
| | A 1/9 40 -reg. | 95122,61 | ±53839,86 |
| | A 9/1 40 +reg. | 100963,23 | ±51510,93 |



Graf 1- Porovnání plošné rezistivity vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny

V grafu č. 1 jsou uvedeny pivotové sumy plošné rezistivity u vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny. Z uvedených hodnot lze sledovat nejnižší hodnoty rezistivity u vzorků čtyř vazného kepru, pěti vazného kepru ve vyšších dostavách útku a v atlasové vazbě s nejvyšší dostavou nebo s dvojitou soustavou útkových nití. Naopak vyšších hodnot plošné rezistivity dosahovaly vzorky v plátňové vazbě s jednoduchou přízí v útku a v nižší dostavě útku. Vzorky tkaniny dvojnásobné byly měřeny zvlášť v části dutinné a zvlášť v části spojkové, za cílem

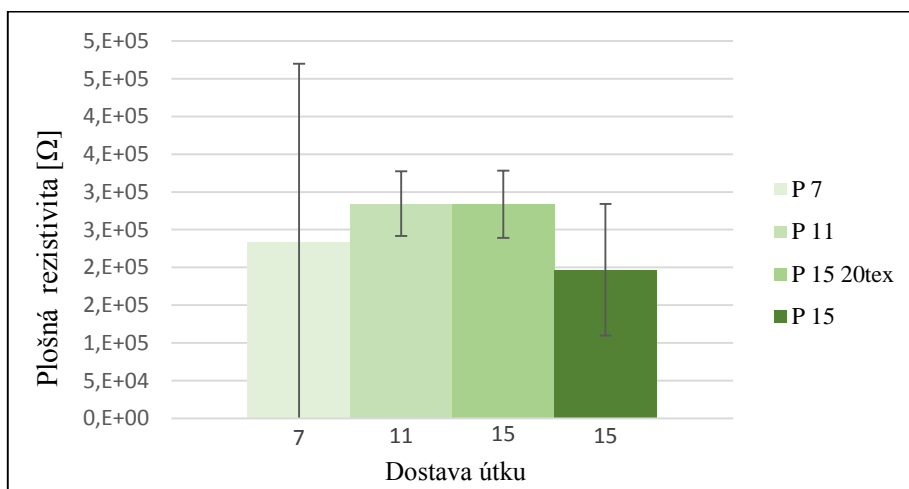
porovnat vliv provázání jednotlivých vrstev tkaniny. Tabulka č. 14 uvádí pivotové polosumy a 95% intervaly spolehlivosti plošné rezistivity.

Tabulka 14 - Hodnoty plošné rezistivity u dutinné a spojkové tkaniny

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Plošná rezistivita - ρ_s [Ω] | |
|---------------------------------|-----------------|--|----------------------------|
| | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10_dutinná | 167755,12 | $\pm 12694,45$ |
| | P 10_spojková | 220710,22 | $\pm 46606,38$ |
| | P 14_dutiná | 109054,31 | $\pm 57386,96$ |
| | P 14_spojková | 121475,68 | $\pm 74343,62$ |
| | P 16_dutinná | 85698,05 | $\pm 44922,56$ |
| | P 16_spojková | 116885,03 | $\pm 44998,79$ |
| | P 18_dutinná | 69305,31 | $\pm 38432,59$ |
| | P 18_spojková | 59929,51 | $\pm 6142,81$ |
| | P 20_dutinná | 85030,54 | $\pm 45038,28$ |
| | P 20_spojková | 54301,54 | $\pm 12336,90$ |
| | P 24_dutinná | 48195,37 | $\pm 7204,38$ |
| | P 24_spojková | 93874,20 | $\pm 43866,54$ |

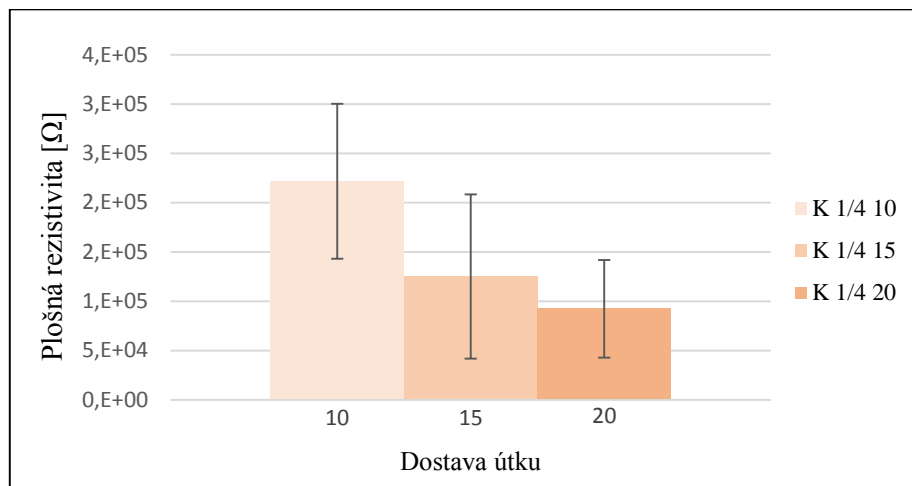
7.2.1 Vliv dostavy

Nejprve byl sledován vliv dostavy útkových nití u jednotlivých vzorků se shodnými dalšími parametry a bylo je tak možné mezi sebou vzájemně porovnat. V následujících grafech je uvedeno srovnání vzorků v základní plátňové a keprové vazbě se vzrůstající dostavou útku.



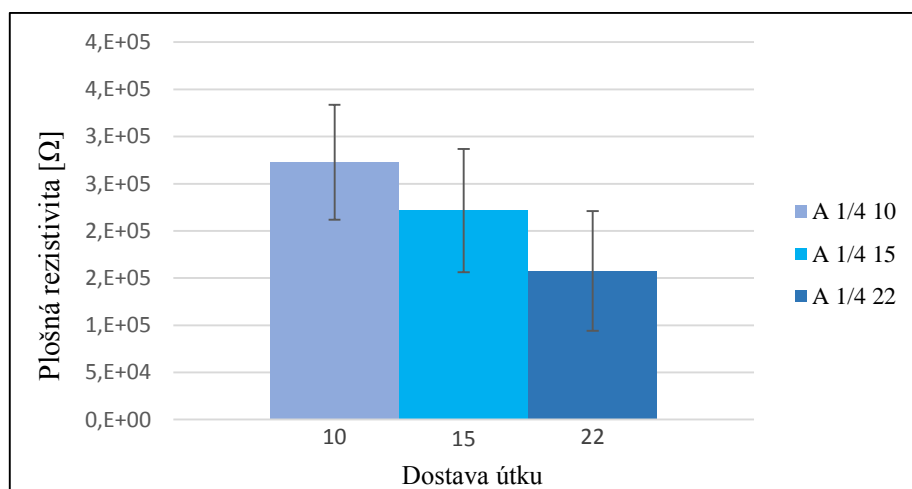
Graf 2 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u plátňové vazby





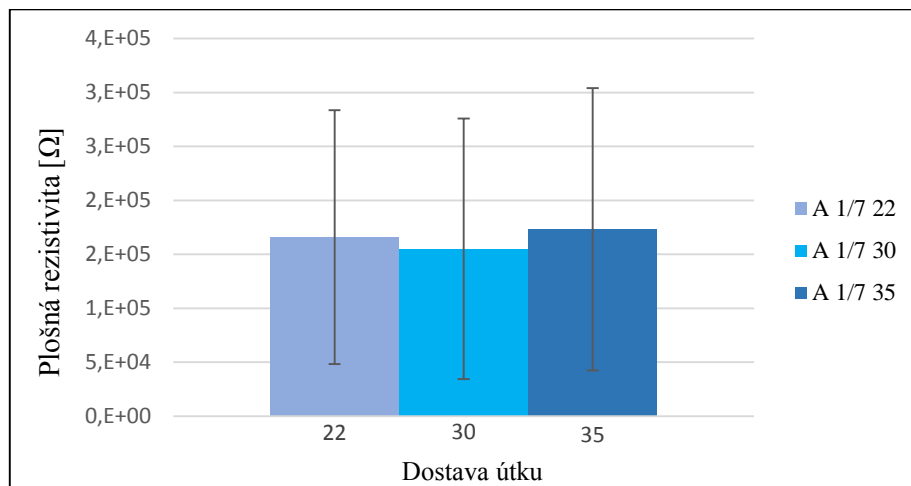
Graf 3 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u kepruvé vazby se shodnou velikostí střídy

V grafu č. 2 je u plátnové vazby sledován jak vliv dostavy útku tak i vliv jemnosti použité příze, kdy vzorek s jednoduchou přízí o jemnosti 20 tex v útkové soustavě vykazoval vyšší plošnou rezistivitu než vzorek s dvojmoskanou přízí v obou soustavách. I přes to se intervaly spolehlivosti překrývají a mezi vzorky není statisticky významný rozdíl. Z grafu č. 3 lze na vzorcích kepruvé vazby sledovat vliv vazby, kdy plošný odpor se zvyšující se dostavou klesá. Tedy elektrická vodivost tkaniny roste, což může souviset s vyšším zakrytím plochy útkovou nití. Intervaly spolehlivosti u sledovaných tkanin v kepruvé vazbě s rozdílem dostavy útkových nití v počtu 10 nití na cm se nepřekrývají, a tudíž je mezi těmito vzorky statisticky významný rozdíl. Pro potvrzení sledované závislosti elektrické vodivosti na dostavě útkových nití byly porovnávány dále i vzorky atlasové vazby se shodnou velikostí střídy a odlišnou dostavou.



Graf 4 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u atlasové vazby se shodnou velikostí střídy



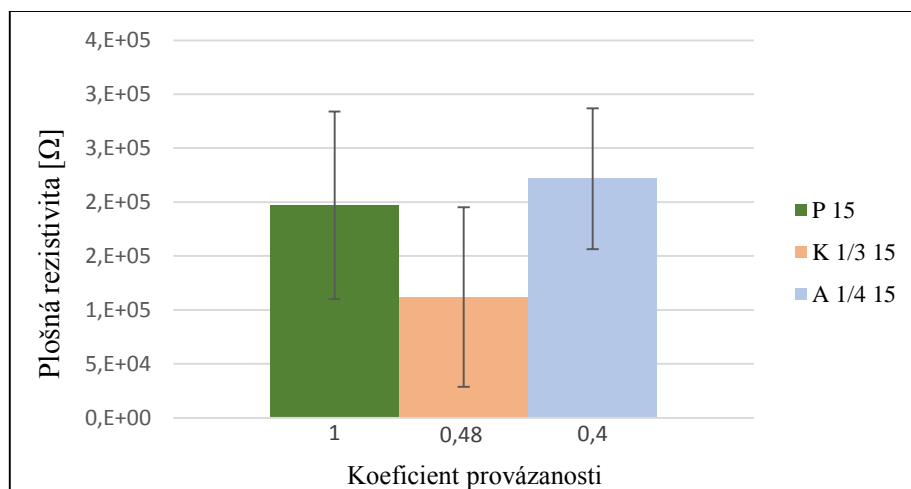


Graf 5 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u atlasové vazby se shodnou velikostí střídy

U atlasové vazby bylo možné sledovat v grafu č. 4 pokles plošného odporu vlivem zvyšující se dostavy útkových nití. Nelze tvrdit, že mezi vzorky je statisticky významný rozdíl, vzhledem k tomu, že se intervaly spolehlivosti překrývají. Vzorky atlasové vazby s vyšší střídou vazby a ve vyšších dostavách útku dle grafu č. 5 dosahovaly hodnot srovnatelných. Tímto lze předpokládat, že při konstrukci tkanin ve vyšších dostavách útku již není vliv tohoto parametru statisticky významný, nakořlík se intervaly spolehlivosti vzorků překrývají.

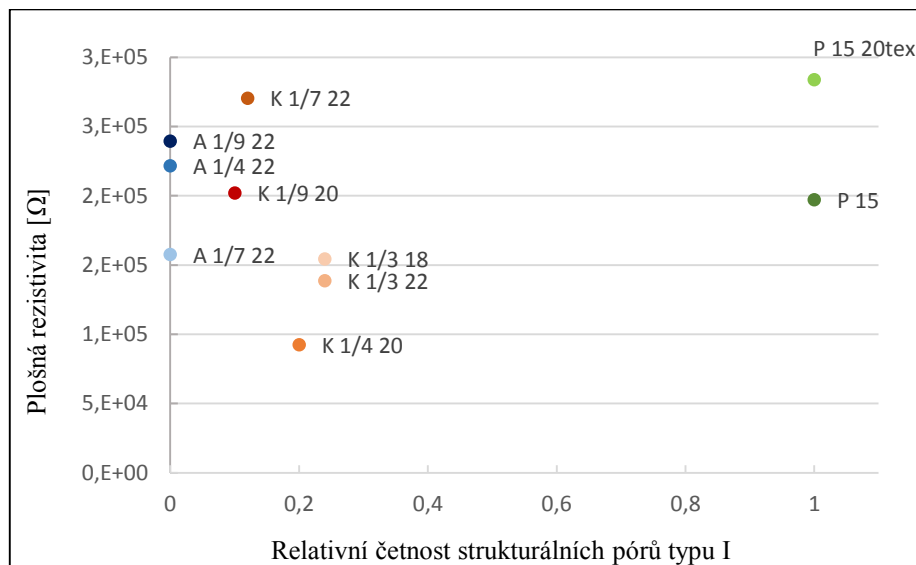
7.2.2 Vliv koeficientu provázání

S ohledem na geometrii tkaniny byl sledován vliv množství provazujících úseků prostřednictvím koeficientu provázanosti, což souvisí s množstvím a délkou flotážních úseků. Tkaniny s vyšším koeficientem provázanosti jsou nejvíce soudržné.



Graf 6 - Vliv provazujících úseků na plošnou rezistivitu prostřednictvím koeficientu provázanosti

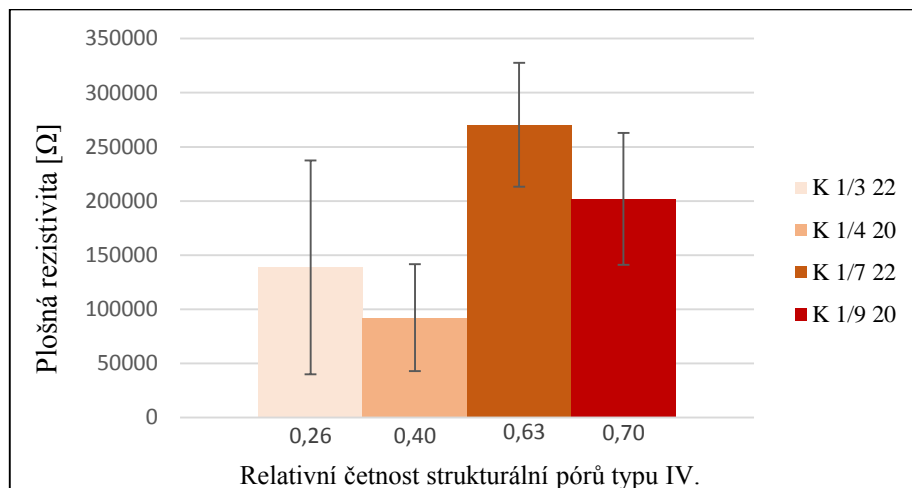




Graf 7 - Vliv provázanosti na plošnou rezistivitu prostřednictvím relativní četnosti strukturálních pórů typu I.

Tkaniny s vyšším koeficientem provázanosti jsou nejvíce soudržné. Nejvyšší možný koeficient je dán pro plátňovou vazbu, kde byla očekávána i nižší hodnota plošné rezistivity, vlivem maximálního počtu kontaktních ploch mezi nitěmi. V grafu č. 6 jsou porovnávány vzorky tkanin v nejmenší dostupné střídě ze sady experimentálních tkanin z hlediska jejich koeficientu provázanosti. Vazba s nejvyšším koeficientem provázanosti (plátňová) nedosahovala nejnižšího očekávaného plošné rezistivity. Naopak keprová vazba, jenž obsahuje nejen strukturální póry provázání typu I. ale i úseky flotážní, dosahovala nejnižší hodnoty plošného odporu. Graf č. 7 potvrzuje tytéž výsledky, kdy tkanina s nejvyšší relativní četností strukturálních pórů typu I, což je charakteristické pro plátno, dosahuje vyšších hodnot plošné rezistivity. Z toho lze vyvodit dílčí závěr, že vyšších hodnot elektrické rezistivity lze dosáhnout konstrukcí tkaniny obsahující strukturální póry typu I, typu II a typu III. Naopak vazba s absencí některého z těchto typů dosahuje vyšších hodnot plošné rezistivity. Vzhledem k tomu, že keprová vazba jakožto vazba se všemi třemi typy pórů dosahovala nejnižší plošné rezistivity, byl následně sledován vliv relativní četnosti strukturálního póru typu IV. ve vztahu k délce flotážních úseků.





Graf 8 - Vliv délky flotáže na plošnou rezistivitu prostřednictvím relativní četnosti strukturálních pórů typu IV.

Dle grafu č. 8 lze pozorovat, že kratší flotážní úseky tkaniny ovlivňují pozitivně plošnou rezistivitu, vzhledem k nižší pravděpodobnosti možnosti podsouvání nití pod sebe a vyššímu plošnému zakrytí struktury.

7.3 Vyhodnocení objemové rezistivity

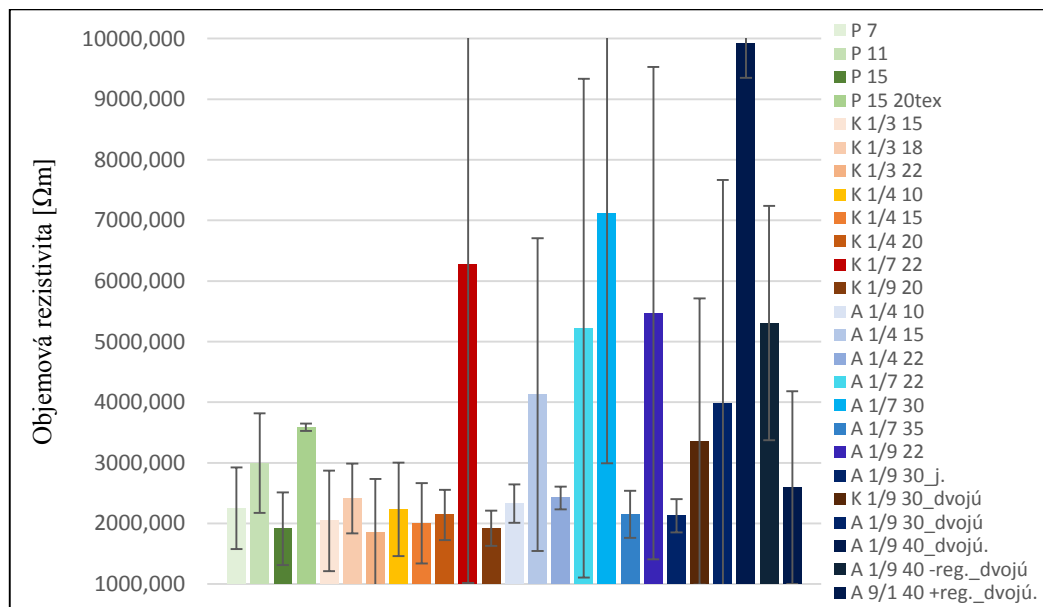
Objemový odpor byl měřen také vždy na 10 odlišných místech každého vzorku a následně byla data přepočítána dle vzorce 7.2. Výsledné hodnoty objemové rezistivity byly zpracovány metodou pro analýzu malých výběrů dle Hornova postupu. V tabulce č. 15 jsou uvedeny pivotové polosumy, které představují polohu středu hodnoty objemové rezistivity a 95% intervaly spolehlivosti pro vzorky jednoduché a dvojútkové tkaniny.

Tabulka 15 - Hodnoty objemové rezistivity – 1. a 2. skupina vzorků

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Objemová rezistivita – ρ_v [Ωm] | |
|--------------------------------|-----------------|--|----------------------------|
| | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | 2248,96 | $\pm 674,24$ |
| | P 11 | 2544,84 | $\pm 758,81$ |
| | P 15 | 1913,02 | $\pm 599,66$ |
| | P 15 20tex | 3588,15 | $\pm 60,72$ |
| | K 1/3 15 | 2040,90 | $\pm 830,58$ |
| | K 1/3 18 | 2412,87 | $\pm 575,57$ |
| | K 1/3 22 | 1858,917 | $\pm 874,81$ |
| | K 1/4 10 | 2231,40 | $\pm 770,35$ |



| | | | |
|---|------------------------|---------|----------|
| | K 1/4 15 | 2001,51 | ±662,94 |
| | K 1/4 20 | 2139,76 | ±413,71 |
| | K 1/7 22 | 6279,67 | ±5263,92 |
| | K 1/9 20 | 1920,71 | ±290,39 |
| | A 1/4 10 | 2325,58 | ±316,11 |
| | A 1/4 15 | 4125,83 | ±2578,38 |
| | A 1/4 22 | 2420,09 | ±186,71 |
| | A 1/7 22 | 5222,45 | ±4113,33 |
| | A 1/7 30 | 7108,37 | ±6061,54 |
| | A 1/7 35 | 2150,91 | ±389,16 |
| | A 1/9 22 | 5468,89 | ±4063,48 |
| | A 1/9 30 jednoduchá | 2126,14 | ±273,11 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | 3352,37 | ±2360,82 |
| | A 1/9 30 | 3986,18 | ±3683,56 |
| | A 1/9 40 | 9914,68 | ±560,50 |
| | A 1/9 40 -reg. | 5305,58 | ±1932,32 |
| | A 9/1 40 +reg. | 2590,09 | ±1590,96 |



Graf 9 - Porovnání objemové rezistivity vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny

Graf č. 9 zachycuje pivotové polosumy objemové rezistivity vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny. Nejvyšších hodnot objemové rezistivity dosahoval vzorek dvojútkové atlasové vazby s vyšší dostavou útku a jednoduché atlasové a keprové s vyšší velikostí střídy.



Z hlediska objemové rezistivity dosahovaly nejnižších hodnot vzorky keprové vazby s nižší střídou a dále plátňová vazba s nejvyšší dostavou, což může souviset s tloušťkou tkaniny. V tabulce č. 16 jsou uvedeny hodnoty objemové rezistivity dvojnásobných tkaniny zvlášť pro tkaninu dutinnou a pro tkaninu spojkovou.

Tabulka 16 - Hodnoty objemové rezistivity u dutinné a spojkové tkaniny

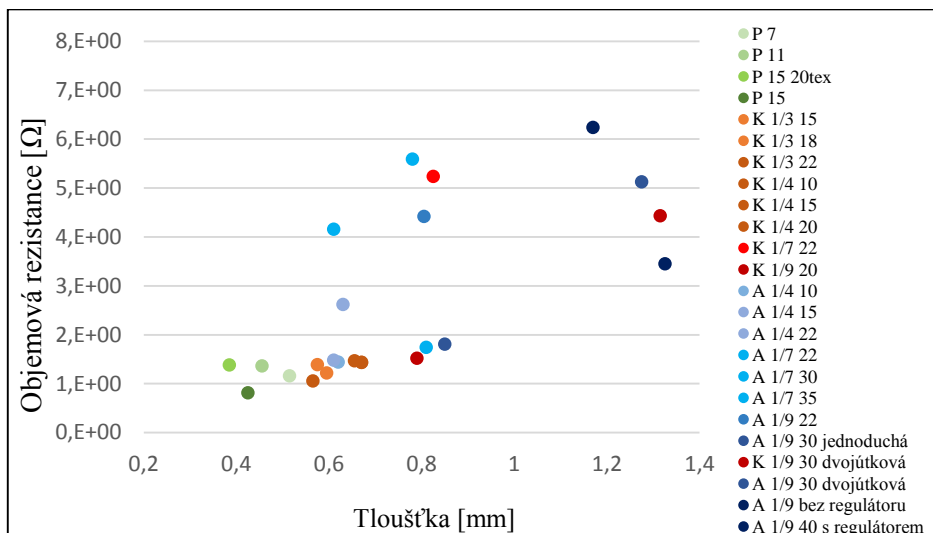
| Skupina tkanin | Označení vzorku | Objemová rezistivita - ρ_s [Ωm] | |
|---------------------------------|-----------------|--|----------------------------|
| | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10_dutinná | 8020,89 | $\pm 401,59$ |
| | P 10_spojková | 2332,98 | $\pm 1025,47$ |
| | P 14_dutiná | 2314,70 | $\pm 268,60$ |
| | P 14_spojková | 1660,01 | $\pm 583,90$ |
| | P 16_dutinná | 2456,29 | $\pm 996,00$ |
| | P 16_spojková | 1431,71 | $\pm 145,97$ |
| | P 18_dutinná | 1712,79 | $\pm 742,18$ |
| | P 18_spojková | 887,57 | $\pm 245,74$ |
| | P 20_dutinná | 1624,91 | $\pm 207,00$ |
| | P 20_spojková | 1311,35 | $\pm 80,88$ |
| | P 24_dutinná | 1856,29 | $\pm 200,27$ |
| | P 24_spojková | 987,92 | $\pm 220,72$ |

7.3.1 Vliv tloušťky tkaniny

Hodnoty objemové rezistivity byly porovnávány u stejných vzorků, u kterých byla hodnocena také plošná rezistivita. Na rozdíl od plošného odporu byly u objemové rezistivity hodnoceny navíc některé další proměnné, u nichž byl očekáván vliv na tuto hodnotu. Primárně byl sledován vliv tloušťky tkaniny na úroveň objemové rezistivity, ve vztahu k měřené objemové rezistanci, nakolik se jedná o parametr definovaný z hlediska objemu.

Z grafu č. 10 lze sledovat vliv tloušťky vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny na hodnotu objemové rezistance [Ω]. Tento parametr byl zvolen vzhledem k tomu, že hodnocená objemová rezistivita je již na tloušťku vztahena a nelze přímo sledovat viditelně její vliv. Objemová rezistance spolu se snižující se tloušťkou má tendenci klesat, což se projeví i u následné objemové rezistivity.

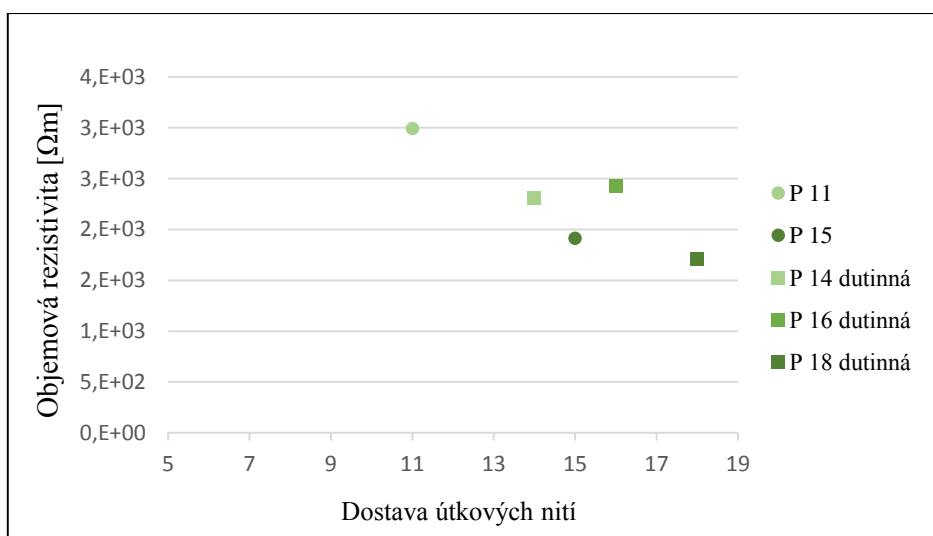




Graf 10 - Vliv tloušťky tkaniny na objemovou rezistanci

7.3.2 Vliv více vrstev tkaniny

Nejprve byl sledován rozdíl mezi jednoduchou a dvojnásobnou tkaninou z hlediska vlivu více vrstev materiálu a s tím souvisejícího vlivu tloušťky na jeho vodivost. Nakolik byly vzorky dvojnásobné tkaniny zkonstruovány pouze v plátnové vazbě, byly vybrány porovnatelné vzorky tkaniny jednoduché.



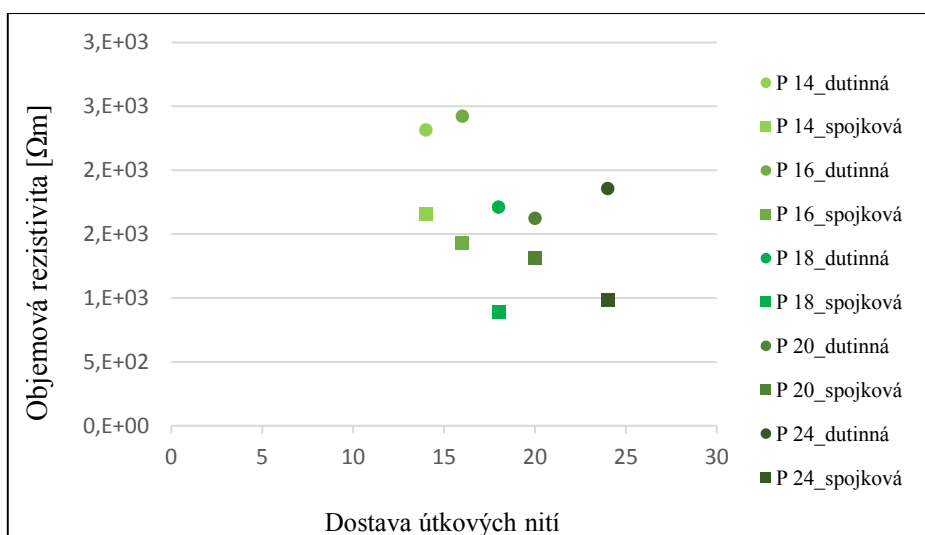
Graf 11 - Vliv více vrstev tkaniny na objemovou rezistivitu

Z grafu č. 11 lze sledovat vliv dvou vrstev materiálu na hodnotu objemové rezistivity s ohledem na dostavu útku ve srovnání s hodnotami jednoduché tkaniny. Tedy nejen tloušťka



materiálu, ale především jeho vrstvení a tím vyšší plošné zakrytí ovlivňuje elektrickou vodivost. Nakolik dvojnásobná tkanina s vyšší tloušťkou dosahuje ve srovnání s jednoduchou tkaninou nižší objemové rezistivity. Z grafu lze současně sledovat vliv zvyšující se dostavy útku, kdy objemová rezistivita má tendenci klesat.

Následně byly mezi sebou porovnávány vzorky dvojnásobné tkaniny dutinné a spojkové, kde byl sledována vliv soudržnosti struktury a s tím související změna tloušťky materiálu. Dvě samostatně na sobě ležící vrstvy v podobě dvojnásobné dutinné tkaniny dosahovaly vyšších hodnot objemové rezistivity než vzorky tkaniny dvojnásobné spojkové, jak je možné sledovat na grafu č. 12 níže. U dvojnásobné tkaniny byl při srovnání dutinné a spojkové tkaniny opět potvrzen vliv dostavy útkových nití na rezistivitu a dále byl vysledován vliv provázání jednotlivých vrstev dvojnásobné tkaniny na její tloušťku. Tkanina s vyšší soudržností a menší tloušťkou dosahuje nižších hodnot objemového odporu.



Graf 12 - Vliv více vrstev a jejich provázání na tloušťku materiálu s ohledem na objemovou rezistivitu

V Příloze č. 2 této práce je uvedeno další grafické zpracování hodnocení konstrukčních parametrů z hlediska vlivu sledovaných parametrů na plošnou a objemovou rezistivitu.



8 Elektromagnetické stínění vzorků tkaniny

Ochrana před elektromagnetickým zářením je zajišťována prostřednictvím trojrozměrné struktury stínícího materiálu, tzv. štítu či krytu. Účinnost štítu závisí nejenom na hodnotách elektrické vodivosti materiálu. Dalšími ovlivňujícími faktory jsou geometrické charakteristiky štítu či frekvence vnějšího dopadajícího elektromagnetického pole. Čím je frekvence dopadajícího záření vyšší, tím vyšší je i hodnota stínění. Parametr, kterým je vyjadřováno snížení intenzity EM pole je tzv. stínící účinnost štítu (SE).

8.1 Měření elektromagnetického stínění

Efektivita stínění (SE) textilií byla měřena dle normy ASTM 4935-99 [39], která je určena pro hodnocení plošných materiálů. Tato norma pracuje s předpokladem dopadu rovinné vlny na stínící přepážku v blízké zóně elektromagnetického pole pro frekvenci 30 MHz až 1,5 GHz. Měřící přípravek sestával z držáku vzorku koaxiálního tvaru, jehož vstup a výstup byl připojen k obvodovému analyzátoru. Pro kalibraci měřící soustavy se využívá referenční vzorek měřeného materiálu ve tvaru mezikruží. Měřící soustava je zachycena na obrázku č. 29.



Obrázek 29 - Příklad přístroje pro měření stínící účinnosti



8.2 Vyhodnocení efektivity stínění

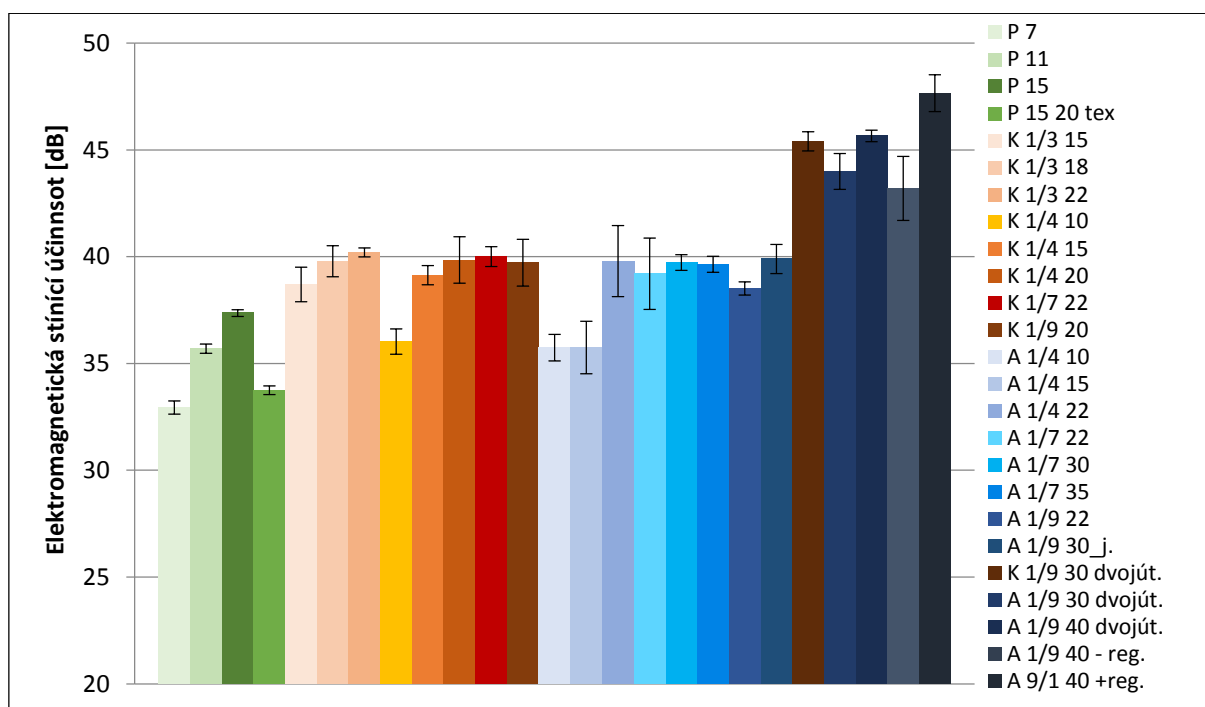
Efektivita elektromagnetického stínění byla měřena vždy na 5 odlišných místech každého vzorku plošné textilie na celém frekvenčním spektru od 30 MHz do 1,5 GHz. Data byla zpracována metodou pro analýzu malého výběru dle Hornova postupu. V tabulce č. 17 jsou uvedeny pivotové polosumy pro odhad polohy a 95 % interval spolehlivosti pro tuto hodnotu pro vybranou frekvenci 1,5 GHz. Tato frekvence se nejvíce přibližuje pracovním frekvencím wi-fi či mobilních telefonů. Hodnoty SE všech vzorků pro další vybrané frekvence jsou uvedeny v Příloze č. 3.

Tabulka 17 - Hodnoty elektromagnetické stínící účinnosti pro frekvenci 1,5 GHz

| Skupina tkanin | Označení vzorku | Stínící účinnost [dB] frekvence = 1,5 GHz | |
|--------------------------------------|-----------------|--|----------------------------|
| | | Pivotová polosuma | 95% Interval spolehlivosti |
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | 32,931 | ±0,311 |
| | P 11 | 35,692 | ±0,222 |
| | P 15 | 37,356 | ±0,162 |
| | P 15 20tex | 33,746 | ±0,201 |
| | K 1/3 15 | 38,697 | ±0,808 |
| | K 1/3 18 | 39,788 | ±0,726 |
| | K 1/3 22 | 40,195 | ±0,204 |
| | K 1/4 10 | 36,025 | ±0,596 |
| | K 1/4 15 | 39,131 | ±0,450 |
| | K 1/4 20 | 39,841 | ±1,083 |
| | K 1/7 22 | 40,007 | ±0,465 |
| | K 1/9 20 | 39,713 | ±1,092 |
| | A 1/4 10 | 35,742 | ±0,619 |
| | A 1/4 15 | 38,551 | ±1,226 |
| | A 1/4 22 | 39,791 | ±1,667 |
| | A 1/7 22 | 39,201 | ±0,036 |
| | A 1/7 30 | 39,725 | ±0,365 |
| | A 1/7 35 | 39,638 | ±0,372 |
| | A 1/9 22 | 38,509 | ±0,303 |
| A 1/9 30 jednoduchá | 39,892 | ±0,680 | |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | 45,402 | ±0,448 |
| | A 1/9 30 | 43,994 | ±0,839 |
| | A 1/9 40 | 45,651 | ±0,274 |
| | A 1/9 40 -reg. | 43,195 | ±1,496 |
| | A 9/1 40 +reg. | 47,653 | ±0,861 |



| | | | |
|---------------------------------------|---------------|--------|--------|
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10_dutinná | 43,926 | ±0,791 |
| | P 10_spojková | 39,959 | ±0,627 |
| | P 14_dutinná | 46,392 | ±0,536 |
| | P 14_spojková | 40,209 | ±0,768 |
| | P 16_dutinná | 46,366 | ±3,588 |
| | P 16_spojková | 39,824 | ±1,110 |
| | P 18_dutinná | 48,289 | ±1,536 |
| | P 18_spojková | 39,835 | ±0,909 |
| | P 20_dutinná | 47,065 | ±1,697 |
| | P 20_spojková | 39,440 | ±0,277 |
| | P 24_dutinná | 48,635 | ±2,404 |
| | P 24_spojková | 38,905 | ±0,852 |



Graf 13 - Elektromagnetické stínění u vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny

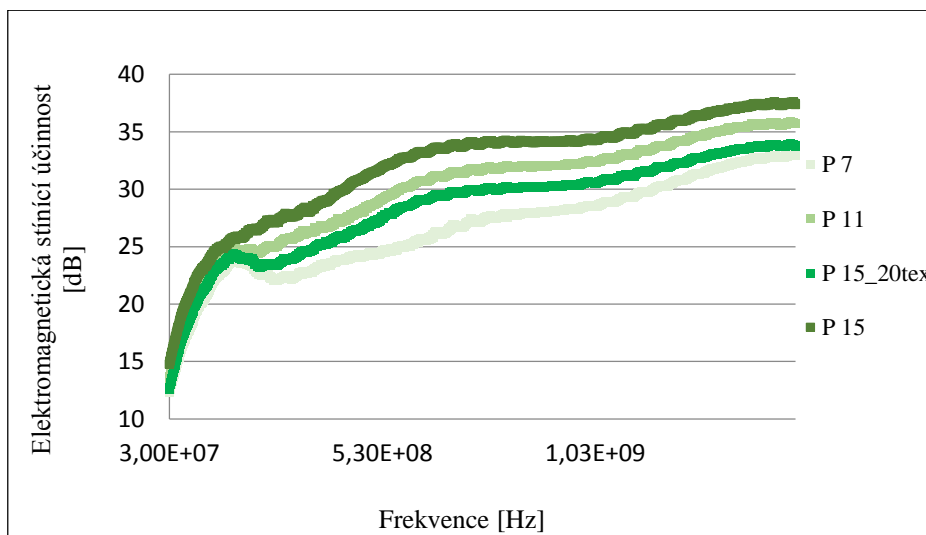
V grafu č. 13 možné sledovat stínící účinnost experimentálních vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny, kde tkaniny v plátnové vazbě dosahovaly nejnižších hodnot SE. Z jednoduchých tkanin dosahovaly nejvyšších hodnot tkaniny v keprové vazbě s vyšší dostavou či s vyšší velikostí střídy vazby. Atlasové vazby s vyšší velikostí střídy dosahovaly srovnatelných hodnoty SE se vzorky keprové vazby. Intervaly spolehlivosti mezi vzorky s vyšší dostavou se překrývaly, zvláště u vzorků atlasové vazby a není mezi vzorky statisticky



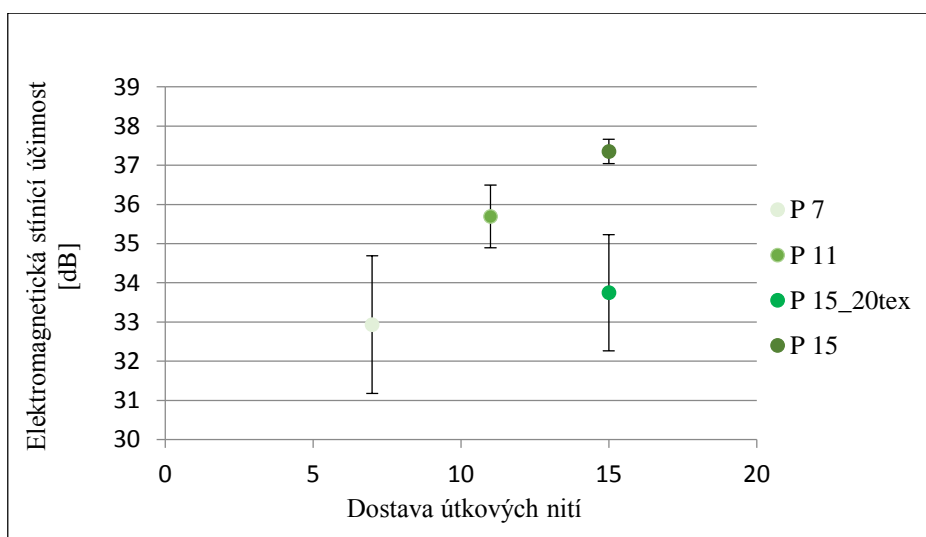
významný rozdíl. Statisticky významný rozdíl je mezi vzorky plátnové vazby a keprové nebo atlasové vazby. Výrazně vyšší SE v porovnání s jednoduchou plátnovou vazbou dosahovaly vzorky dvojútkové tkaniny.

8.2.1 Vliv dostavy útkových nití

Hodnoty stínící efektivity byly porovnávány analogicky u stejných vzorků, u kterých byla hodnocena plošná a objemová rezistivita. Nejprve byl sledován vliv dostavy útkových nití na schopnost odstínit záření na celém frekvenčním pásmu a následně byly vybrány určité frekvence, které se přibližují běžně používaným elektronickým zařízením.



Graf 14 - Vliv dostavy útku na stínící účinnost pro celé frekvenční pásmo

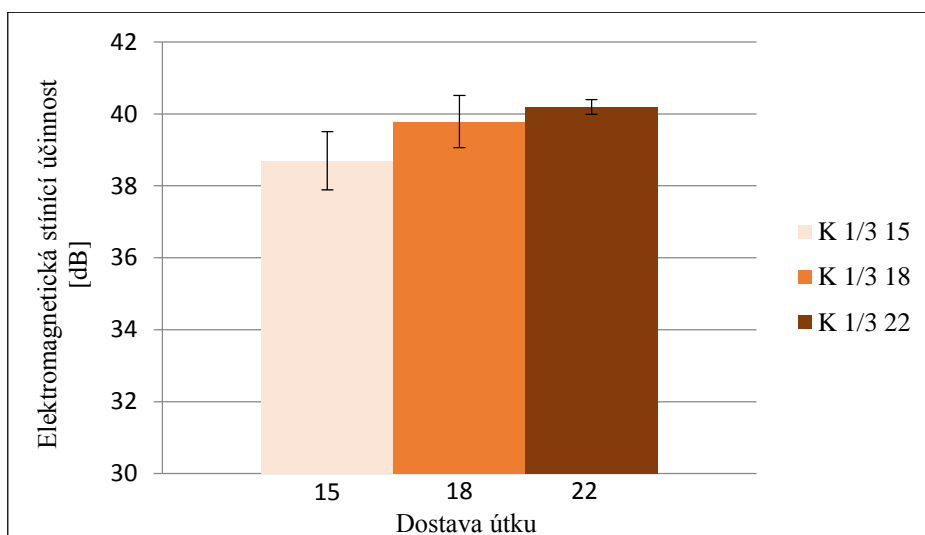


Graf 15 - Vliv dostavy útku a jemnosti na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz



V grafu č. 14 lze sledovat zvyšující se stínící účinnost se zvyšující se frekvencí, což potvrzuje teorii elektromagnetického stínění. Vzhledem k tomu, že se jedná o široké frekvenční pásmo, byly následně porovnávány jednotlivé vzorky pro vybranou frekvenci 1,5 GHz.

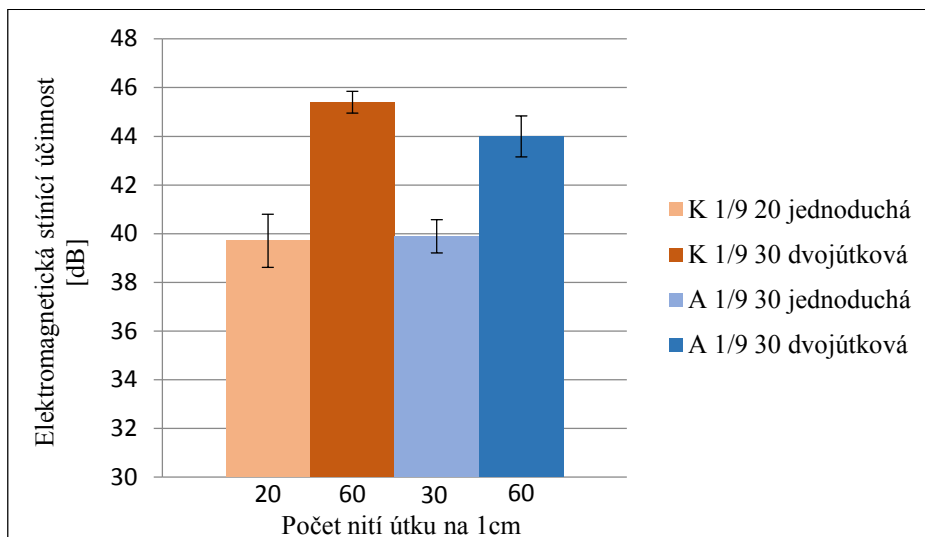
Graf č. 15 zachycuje vliv dostavy útkových nití na stínící účinnost u plátňové vazby při vybrané frekvenci EM záření. Zde lze sledovat opět stoupající trend SE vlivem zvyšující se dostavy. Vliv na schopnost odstínit elektromagnetické záření má také jemnost použité příze, jako tomu bylo u elektrické vodivosti. Vzorek s jemnější přízí v útku (P 15 20tex) vykazuje nižší hodnotu SE než vzorek, jenž má v obou soustavách dvojmoskanou přízi. Intervaly spolehlivosti se nepřekrývají a lze tedy tvrdit, že mezi některými vzorky je statisticky významný rozdíl.



Graf 16 - Vliv dostavy útku na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz

Dle grafu č. 16 lze sledovat stejný trend závislosti zvyšující se stínící účinnosti se zvyšováním dostavy útkových nití. U tkanin vyšších dostav není rozdíl mezi SE příliš významný. V souvislosti s hodnocením vlivu dostavy na stínící účinnost byl dále posuzován vliv zdvojené soustavy útkových nití.





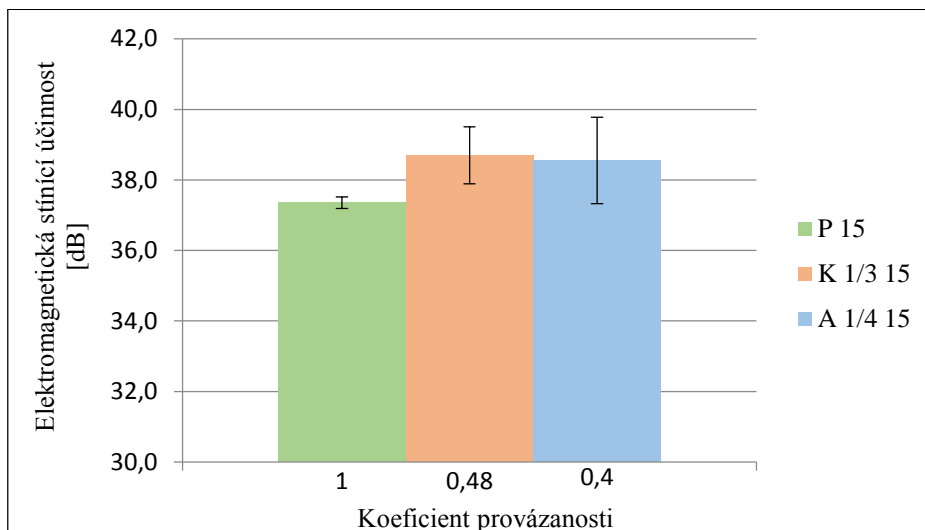
Graf 17 - Vliv zdvojeného útku na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz

Z grafu č. 17 lze u vzorků jednoduché tkaniny pozorovat výrazně nižší SE, intervaly mezi keprovou a atlasovou vazbou se překrývají a tedy není statisticky významný rozdíl mezi typem vazby u vyšších dostav útku. Naopak vzorky dvojútkové tkaniny vykazují značně vyšší stínící účinnost než tkanina jednoduchá a intervaly mezi jednotlivými vazbami se nepřekrývají. Je mezi nimi statisticky významný rozdíl.

8.2.2 Vliv provázání

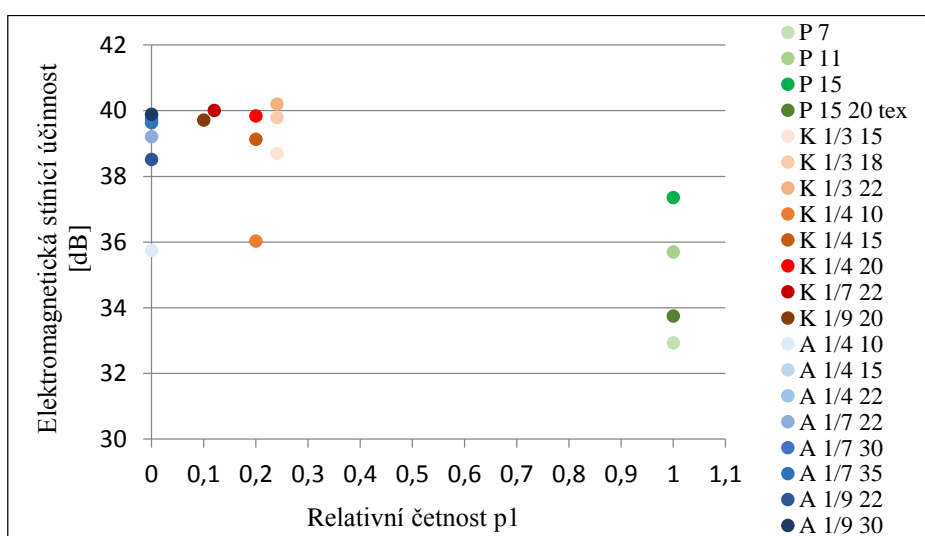
Dále byl sledován vliv množství provazujících úseků prostřednictvím koeficientu provázanosti. Tkaniny s vyšším koeficientem provázanosti jsou nejvíce soudržné a nitě jsou ve vyšším vzájemném kontaktu. Nejvyšší očekávaná hodnota SE byla tedy u vzorků plátňové vazby, která má nejvyšší koeficient a nejvyšší kontaktní plochy nití.





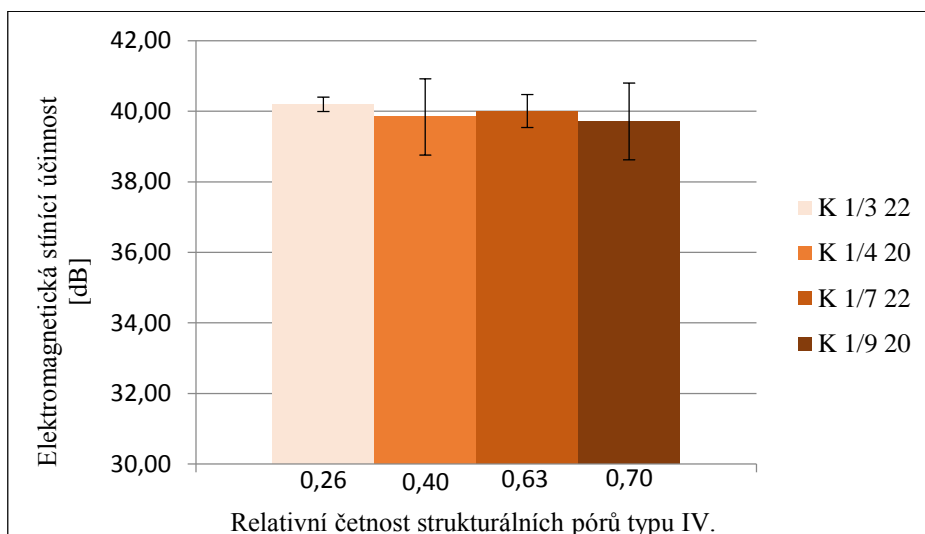
Graf 18 - Vliv provázání na stínicí účinnost při frekvenci 1,5 GHz

Z grafu č. č. 18 je možné sledovat závislost stínění na koeficientu provázání u vzorků stejných dostav útků. Vzorek jednoduché tkaniny v plátnové vazbě s nejvyšším koeficientem provázání a tedy nejvyšší soudržností vykazoval nejnižší hodnotu SE. Lze tedy předpokládat, že vazba s absolutní četností strukturálních pórů typu I nebude nejvhodnější pro stínicí textilie. Důležitým parametrem je kombinace úseků překřížení a úseků flotáže, tedy vazba s póry typu I, typu II a typu IV. což dokazuje i graf č. 19. Vzhledem k tomu, že tkaniny obsahující flotážní úseky v podobě strukturální pórů typu IV dosahovaly vyšších hodnot SE, byl dále sledován vliv délky těchto flotážních úseků. Byl sledován vliv relativní četnosti pórů typu IV. zvlášť pro keprové a zvlášť pro atlasové vazby s porovnatelnou velikostí dostavy.

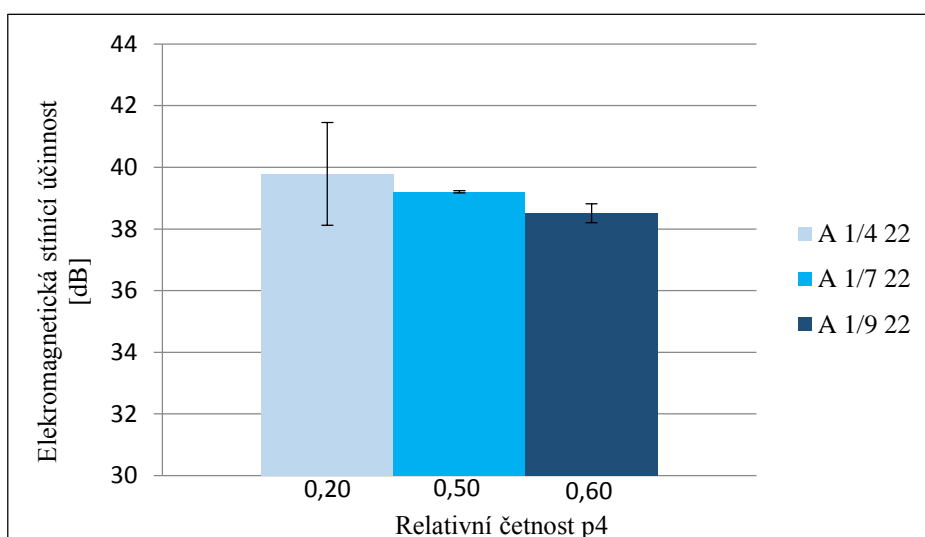


Graf 19 - Vliv relativní četnosti strukturální pórů typu I na EMS





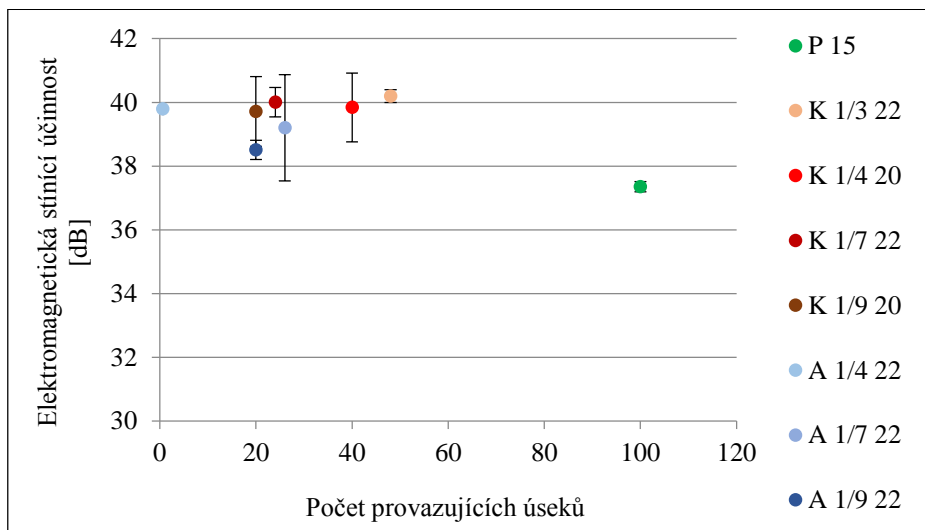
Graf 20 - Vliv délky flotáže prostřednictvím rp4 na stínící účinnost pro frekvenci 1,5 GHz



Graf 21 - Vliv délky flotáže prostřednictvím rp4 na stínící účinnost pro frekvenci 1,5 GHz

Z grafů č. 20 a č.21 lze sledovat podobný trend jako u elektrické vodivosti materiálu, kdy s delšími flotážními úseky klesá SE, nakořlí mají nitě vyšší tendenci se pod sebe podsouvat. Ačkoli lze pozorovat rozdíly vlivem délky flotáže, intervaly spoleřlivosti se překřývají a rozdíl mezi vzorky je statisticky nevřznamný. Pro potvrzení vlivu provazujících úseků byl definován počet přechodů přepočítaný na stejnou střídau vazby 10 x 10 nití a sledován v následujícím grafu.



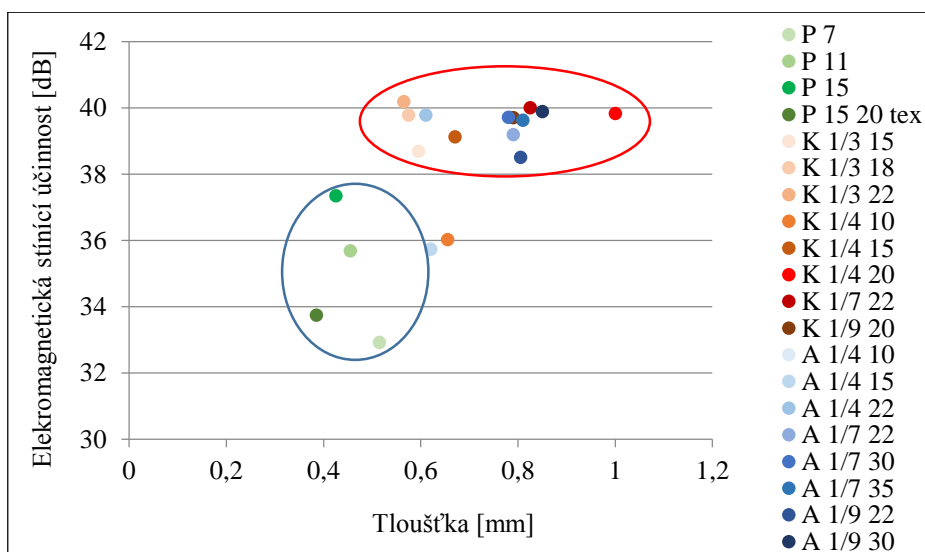


Graf 22 - Vliv četnosti provazujících úseků na EMS

Z grafu č. 22 je zřejmé, že se zvyšujícím se počtem provazujících úseků stínící účinnost neroste a vliv množství kontaktních ploch nití na schopnost odstínit elektromagnetické záření výrazně nemá.

8.2.3 Vliv tloušťky a více vrstev materiálu

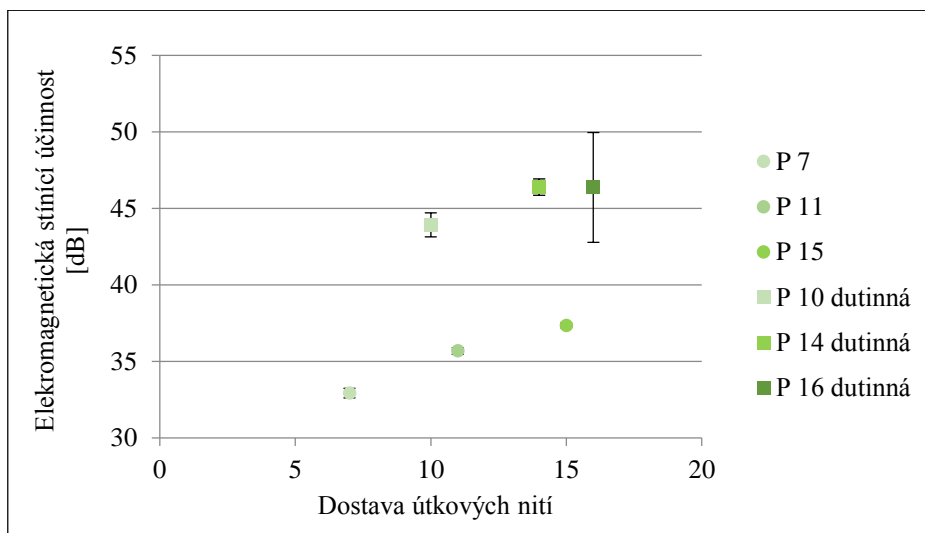
S ohledem na naměřené hodnoty plošné a objemové rezistivity a závislosti této veličiny na tloušťce materiálu lze předpokládat, že tloušťka tkaniny bude mít také vliv na hodnoty SE. V grafu č. 23 jsou porovnány hodnoty stínící účinnosti při odlišných tloušťkách materiálu.



Graf 23 - Vliv tloušťky na EMS

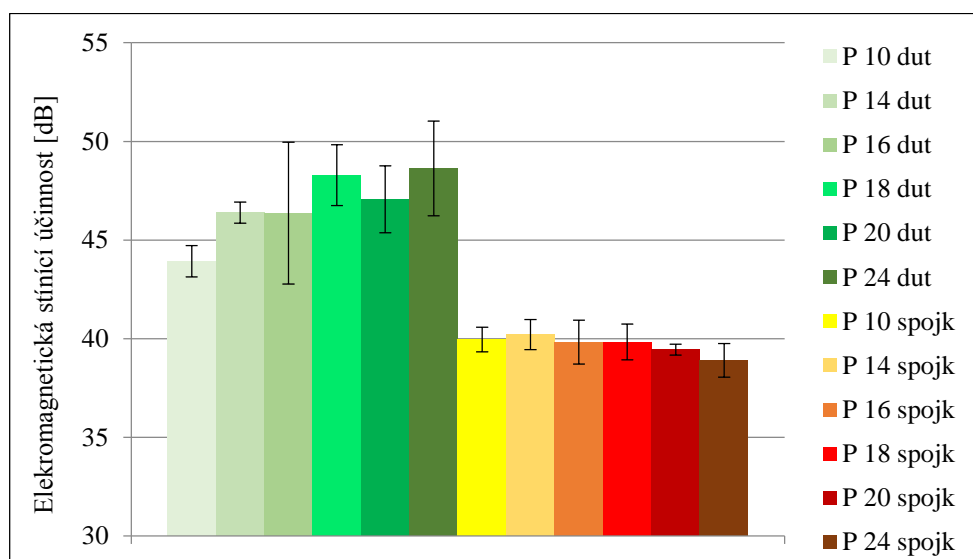


Z grafu vyplývá, že stínící účinnost vlivem nízké tloušťky klesá. Tato závislost však není lineární a při vyšších hodnotách tloušťky je SE konstantní. Tloušťka vlivem zvyšující se dostavy u neplátňových vazeb roste, což může být způsobeno vlivem vyššího zvlnění nití.



Graf 24 - Vliv více vrstev tkaniny na EMS

Dále byla porovnána závislost dostav u jednoduché a dvojnásobné plátňové vazby. Vlivem více vrstev stínící účinnost roste stejně jako se zvyšující se dostavou. Dle grafu č. 25 je možné opět sledovat závislost dostavy útkových nití s ohledem na tkaninu jednoduchou a na tkaninu dvojnásobnou dutinnou. Je zřejmé, že více vrstev poskytuje vyšší stínící účinnost před EM zářením.



Graf 25 - Vliv tloušťky u dvojnásobné tkaniny na EMS



Dvojnásobná tkanina byla dále studována z hlediska dutinné a spojkové části v souvislosti s tloušťkou tkaniny. Vzhledem k tomu, že provazující úseky neovlivnily pozitivně úroveň SE u jednoduché tkaniny, stejný vliv byl vypořádan i u tkaniny dvojnásobné při porovnávání tkaniny dutinné a spojkové. Z tohoto důvodu byl u tkaniny dvojnásobné spíše sledován vliv tloušťky, jejíž nižší hodnoty jsou u spojkové tkaniny způsobeny vlivem provázání. Vzorčky dutinné tkaniny jsou dvě jednoduché tkaniny volně ležící na sobě. Z grafu je zřejmé, že tyto dvě jednoduché tkaniny vykazují vyšší stínící účinnost, než vzorky spojkové tkaniny, jenž jsou vzájemně spojeny provázáním vrstev.

8.3 Závislost proměnných

S ohledem na výše uvedené dílčí závěry, byly vypočítány parciální párové korelační koeficienty s cílem ověřit míru závislosti sledovaných proměnných na elektromagnetické stínění. Korelační koeficient je kladný, jestliže závislost je přímá a záporný, je-li závislost nepřímá. Pokud jsou hodnoty v obou množinách nezávislé, bude korelace blízká nule. Je-li vzájemná závislost souborů lineární, je korelační koeficient R roven $|1|$. Za účelem ověření závislosti sledovaných parametrů byla sestavena korelační matice.

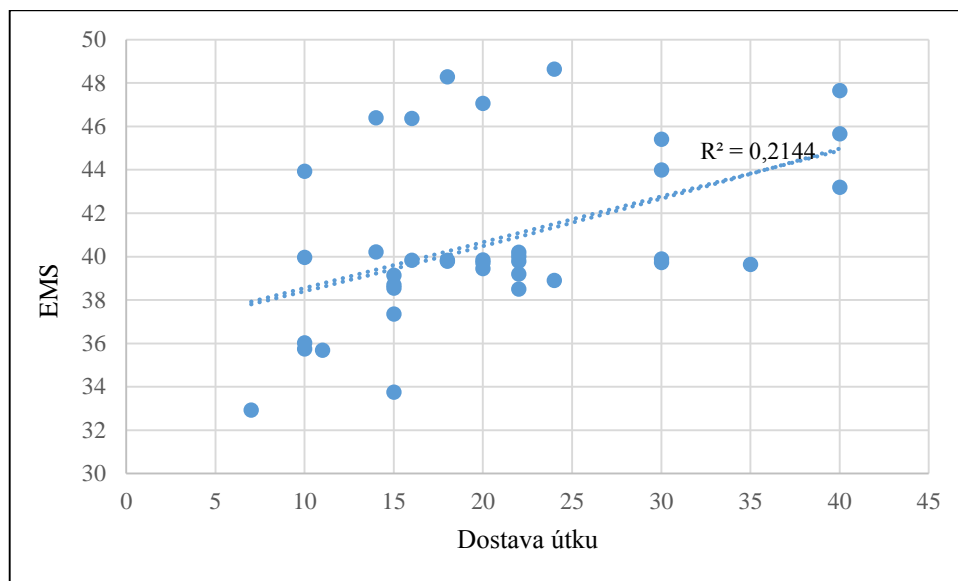
Tabulka 18 - Párové korelační koeficienty

| | EMS | Dostava útku | Koeficient provázanosti | Relativní četnost p1 | Relativní četnost p4 | Počet přechodů | Tloušťka |
|-------------------------|----------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------|
| EMS | 1 | 0,463063 | 0,007936 | 0,059217 | 0,069995 | 0,00878 | 0,679336 |
| Dostava útku | 0,463063 | 1 | -0,60585 | -0,54482 | 0,665689 | -0,60253 | 0,76924 |
| Koeficient provázanosti | 0,007936 | -0,60585 | 1 | 0,985039 | -0,95717 | 0,999831 | -0,43972 |
| Relativní četnost p1 | 0,059217 | -0,54482 | 0,985039 | 1 | -0,89411 | 0,985593 | -0,34915 |
| Relativní četnost p4 | 0,069995 | 0,665689 | -0,95717 | -0,89411 | 1 | -0,95611 | 0,545586 |
| Počet přechodů | 0,00878 | -0,60253 | 0,999831 | 0,985593 | -0,95611 | 1 | 0,545586 |
| Tloušťka | 0,679336 | 0,76924 | -0,43972 | -0,34915 | 0,545586 | -0,43568 | 1 |

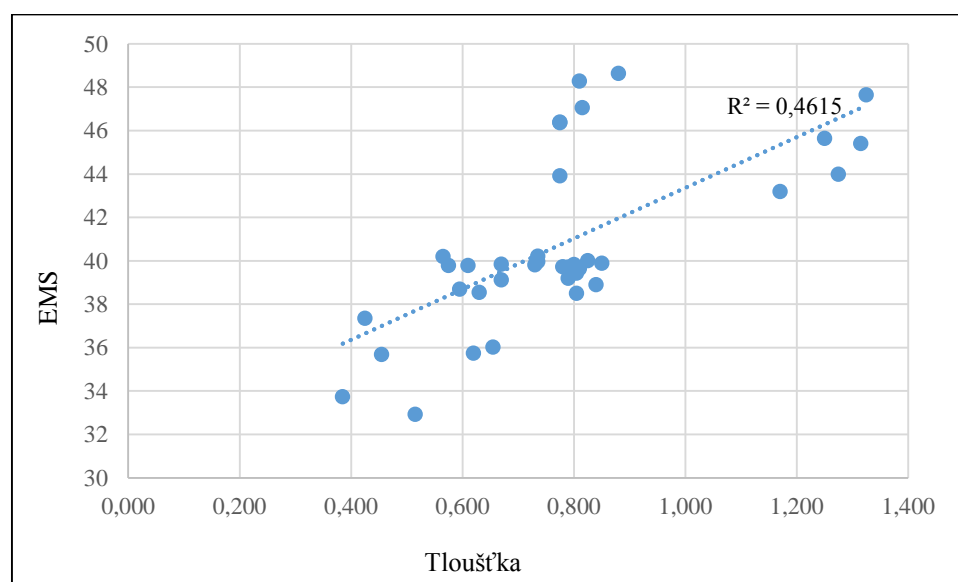
V tabulce č. 18 jsou uvedeny jednotlivé korelační koeficienty závislé vysvětlované proměnné (EMS), díky kterým je možné sledovat závislost této vlastnosti tkaniny na konstrukčních parametrech, tedy nezávislé vysvětlující proměnné. Dle výsledného koeficientu lze pozorovat nejvyšší těsnost závislosti EMS na hodnotách dostavy útku a tloušťky tkaniny. Závislost ostatní sledovaných parametrů není těsná, nakolik se koeficienty blíží 0.



Dle testování významnosti závislosti jednotlivých proměnných byla provedena lineární regrese proložením přímkou množinou pozorování s použitím metody nejmenších čtverců. V grafech je uveden koeficient determinace R^2 , který nabývá hodnoty 1 a vyjadřuje variabilitu proměnné od lineárního modelu. V grafu č. 26 při sledování závislosti dostavy útku na EMS nabývá hodnoty blízké nule a závislost není lineární. V graf č. 27 lze sledovat závislost EMS na tloušťce přibližující se lineárnímu modelu nepatrně, nakořik je $R^2 = 0,46$.



Graf 26 - Závislost EMS na dostavě útku



Graf 27 - Závislost EMS na tloušťce tkaniny



IV. ZÁVĚR

S rozvojem moderní společnosti vzrůstá množství a doba expozice elektromagnetickému stínění, jemuž je lidský organismus vystavován. Z tohoto důvodu jsou stále častěji hledány možnosti ochrany před jeho účinky. Nejúčinnější a nejjednodušší ochranou před účinky elektromagnetického záření je možnost omezení jeho produkce. Bohužel je tato možnost v současné přetechnizované době téměř nerealizovatelná. Více efektivní a reálnou možností prevence před účinky neionizujícího záření je jeho odstínění. K odstínění EM záření jsou stále častěji používány textilní štíty, konstruované z příze s příměsí kovových vláken. Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit vliv konstrukce tkaniny vyrobené z příze s příměsí těchto vláken. Nejprve byly ověřeny základní charakteristiky hybridní vodivé příze, které jsou nezbytné pro následné hodnocení studovaných tkanin.

Pro naplánovaný experiment byla předložena rozsáhlá sada experimentálních vzorků s využitím elektricky vodivé příze obsahující ve své struktuře staplová kovová vlákna. Sada experimentálních tkanin byla složena ze vzorků jednoduché, dvojútkové i dvojnásobné tkaniny v základní plátnové, keprové a atlasové vazbě. Jednotlivé vzorky se od sebe odlišovaly velikostí střídy vazby i dostavou útkových nití. Dvojnásobné tkaniny navíc obsahovaly vzorky tkaniny dutinné a spojkové s cílem sledovat vliv provázání dvou na sobě ležících soustav nití. Cílem bylo zjistit, které konstrukční parametry tkaniny mají významný vliv zejména na výslednou elektromagnetickou stínící schopnost vzorků. Zkoumány byly následující proměnné: dostava útku, vazba z hlediska počtu provazujících úseků, množství a rozložení strukturálních pórů provázání na stejnou velikost střídy, tloušťka tkaniny a více vrstev materiálu.

Na sadě experimentálních tkanin z vodivé příze byla následně hodnocena elektrická vodivost a elektromagnetické stínění s ohledem na parametry tkaniny. Pro parametr plošné rezistivity byla sledována hodnota této veličiny v závislosti na dostavě útku. Bylo vypořádáno, že elektrická vodivost s vyšší dostavou roste (tzn. plošná i objemová rezistivita klesá) vlivem předpokládaného vyššího zakrytí plochy a zvlnění nití. Dále bylo hodnocení plošné rezistivity vztaženo na závislost počtu přechodů a délky flotážních úseků. Při srovnání koeficientů provázanosti bylo zjištěno, že určitý poměr úseků překřížení a flotážních úseků má vliv na plošnou rezistivitu tak, že plošná rezistivita klesá. V tomto směru lze tvrdit, že vyšší elektrické vodivosti lze dosáhnout konstrukcí tkaniny obsahující strukturální póry typu I, typu



II a typu III. Naopak vazba s absencí některého z těchto typů dosahuje nižších hodnot elektrické vodivosti. Vzhledem k tomu, že vazba obsahující tři typy strukturálních pórů byla definována jako vazba pro vyšší hodnoty rezistivity, byl dále sledován vliv délky flotážních úseků. Délka flotáže má negativní vliv na hodnoty rezistivity, což je pravděpodobně způsobeno možným podsouváním nití pod sebe.

Hodnota objemové rezistivity byla hodnocena s ohledem na parametr tloušťky a vrstev materiálu. Byl vysledován trend snižující se tloušťky vzorků v plátňové vazbě v závislosti na zvyšující se dostavě útkových nití. Čím více se tkanina přibližuje čtvercové a dostava útku i osnovy mají shodný počet nití, tím je z hlediska vnitřního uspořádání nití vyrovnanější a platí $t = d_o + d_u$. Objemový odpor spolu se snižující se tloušťkou klesá.

Na základě vyhodnocení parametrů plošné a objemové rezistivity, lze částečně predikovat schopnost materiálu odstínit EM záření. Vyhodnocené parametry stínící účinnosti potvrdily teorii stínění, tím, že se zvyšující se frekvencí rostla i stínící účinnost. Vzhledem k širokému frekvenčnímu pásmu byla vybrána jedna frekvence, která se nejvíce přibližuje pracovním frekvencím běžně dostupných elektronických zařízení. Na této konkrétní frekvenci byl pak hodnocen vliv vybraných konstrukčních parametrů tkaniny.

Jedním ze sledovaných proměnných byla opět dostava útkových nití. Při vyhodnocení EMS se projevila její závislost na dostavě útku tak, že se zvyšující se dostavou roste i stínící efektivita. Dále byl sledován počet přechodů pomocí koeficientu provázanosti, jenž definuje konkrétní vazbu. Ze statisticky vyhodnocených dat vyplývá, že vazba odstiňující EM záření musí obsahovat určitý poměr provazujících úseků a zároveň flotáží. Vazba s nejvyšší soudržností neposkytuje nejvyšší stínící účinnost. Z toho lze vyvodit, že vazba s absencí flotážních úseků i vazba s absencí úseků úplného zakřížení není optimální pro stínící textilie.

Dalším sledovaným parametrem byla tloušťka tkaniny, která může být ovlivněna nižší dostavou a tudíž i nižším zvlněním. Naopak se zvyšující dostavou dochází k vyššímu zvlnění nití a ke změně vnitřního postavení nití určující prostorovou geometrii. Bylo zjištěno, že čím je tloušťka tkaniny vyšší, tím se stínění lineárně zvyšuje. Totéž platí i pro vrstevní tkanin, kdy dvojnásobná tkanina má vyšší schopnost odstínit EM záření. Při sledování provázání této dvojnásobné tkaniny pomocí spojek bylo zjištěno, že dutinná tkanina sestávající z volně na sobě ležících tkanin vykazuje vyšší hodnotu stínící účinnosti, nakolik je tloušťka vyšší.



S ohledem na uvedené zjištění vlivu vybraných konstrukčních parametrů, byl proveden test významnosti této závislosti pomocí parciálních korelačních koeficientů. Na základě hodnot těchto koeficientů byla ověřena závislost elektromagnetického stínění na tloušťce tkaniny a na dostavě útkových nítí a tedy vyšším plošném zakrytí struktury.



Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] **Constantin Beiu, Nicolae Golovanov, Toader Cornel, Georgeta Buica,** Low Frequency Electromagnetic Shielding Solutions. 2017.
- [2] **Ionut BALAN, Cristian MORARI, Alexandru Eros PATROI.** COMPOSITE MATERIALS FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING. *Magnetic Materials*. Leden 2016.
- [3] **Kriti Ranjan Sahu, Udayan De.** Flexible Electromagnetic-Shielding by Polymer-Metal and Polymer-non Metal Composites. *Scientific Federation*. 2017.
- [4] **Šafářová Veronika, Militký Jiří.** Multifunctional Metal Composite Textile Shields Against Electromagnetic Radiation—Effect of Various Parameters on Electromagnetic Shielding Effectiveness. *Polymer Composites*. 2017.
- [5] **M. Javadi Toghchi, C. Loghin, I. Cristian, C. Campagne, P. Bruniaux, A. Cayla.** Investigation of Woven Characteristics on electromagnetic Shielding Behaviour. 2018.
- [6] **Committee for Conformity Assessment on Accreditation and Certification on Functional and Technical Textiles.** *Specified Requirements of Electromagnetic Shielding Textiles*.
- [7] **Holland Shielding Systems BV.** Faraday tents, personal protection, EMI protection & shielding pouches. *Holland Shielding Systems BV*. [Online] [Citace: 20. 3 2019.] <https://hollandshielding.com/>.
- [8] **D. Halliday, R. Resnick, J. Walker.** *Fyzika - část 4. Elektromagnetické vlny, Optika, Relativita*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, VUTIUM, 2000. ISBN 80-214-1868-0.
- [9] **Ing. Ivo Novák, MBA.** Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus. *Elektroinstalatér*. 2015.
- [10] **www.elektrosmog.cz.** *electrosmog.cz - protecting people*. [Online] [Citace: 20. 11 2018.] <http://www.elektrosmog.cz/cojeto.html>.
- [11] **World Health Organization .** The International EMF Project. [Online] [Citace: 20. 10 2018.] <http://www.who.int/peh-emf/project/en/>.



- [12] **Blank Martin, Ph.D.** *Doba Jedová: Elektrosmog*. New York, USA : Triton, 2017. ISBN 978-80-7553-341-8.
- [13] **Webster, J.** ELECTROMAGNETIC SHIELDING. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*. místo neznámé : John Wiley & Sons, Inc., 2007.
- [14] **Gaudin Nicolas, Ph.D.** PRESS RELEASE No. 208: IARC CLASSIFIES RADIOFREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELDS AS. *International Agency for Research on Cancer*. 2011.
- [15] **Fan Wu, Zhuanghu Xu, Yuan Wanga, Mingyang Wang.** Electromagnetic interference shielding properties of solid-state polymerization conducting polymer. *RSC Advances*. 2014, Sv. 73.
- [16] **The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.** *IEEE Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures*. ISBN 1-55937-962-6 New York, 9. 12 1997.
- [17] **S. Geetha, K. K. Satheesh Kumar, Chepuri R. K. Rao, M. Vijayan, D. C. Trivedi.** EMI shielding: Methods and materials—A review. *Applied polymer science*. 4, 2009, Sv. 112.
- [18] **D. Halliday, R. Resnick, J. Walker.** *Fyzika - část 3. Elektřina a magnetismus*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2006. ISBN 80-214-1868.
- [19] **Militký Jiří, Prof.Ing.CSc.** *TEXTILNÍ VLÁKNA: Klasická a speciální*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002. ISBN 80-7083-644-X.
- [20] **Japan Chemical Fiber Association.** What is carbon fiber. *The Japan Carbon Fiber Manufacturers Association*. [Online] 1. 7 2014.
- [21] **Šafářová, Veronika.** Ochranné textilie a oděvy odolné vůči elektromagnetickému záření. [autor knihy] J. Militký, R. Mishra D. Křemenáková. *Pokročilé materiály pro bariérové a funkční vlákenné systémy*. Liberec : Technická Univerzita v Liberci, 2013.
- [22] **Ing. Kolčavová Sirková Brigita, Ph.D.** *Konstrukce a vlastnosti tkanin, učební text*. Liberec : Technická univerzita v Liberci.



- [23] **P. Thumajer, M. Bílek, J. DVořák.** *Základy tkaní a tkací stroje.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2015. 978-80-7494-215-0.
- [24] **TREVOS Košťálov s.r.o.** Polypropylenová stříž TREVON. www.trevos-kostalov.cz.
[Online] [Citace: 25. 3 2019.] https://www.trevos-kostalov.cz/php_cz/tech.php.
- [25] **Ursíny Petr, Prof.Ing. DrSc.** *Předení I., skriptum.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2001.
- [26] **Kovář, Radko.** *Struktura a vlastnosti plošných textilií.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002. 80-7083-676-8.
- [27] **Mrazíková, Ing. Irena.** *Vazby tkanin listové - základní, odvozené a složené.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta textilní, 2002.
- [28] **Modelling of woven composites.** [hwww.xcomposites.com](http://www.xcomposites.com). [Online] [Citace: 18. 3 2019.] <http://www.xcomposites.com/woven.html>.
- [29] **Neckář, Bohuslav.** *Struktura a vlastnosti textilií - soubor přednášek.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, Katedra textilních technologií.
- [30] **Backer, Stanley.** *The Relationship Between the Structural Geometry of a Textile Fabric and Its Physical Properties Part IV: Interstice Geometry and Air Permeability.* místo neznámé : Textile Research Journal, October 1951.
- [31] **Bílek, M.** *Modely vazného bodu - Teorie tkaní, učební text.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, Fakulta strojní, 2016.
- [32] **Šafářová, Ing. Veronika.** *Textilie se zvýšenou odolností vůči elektromagnetickému smogu.* Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2014.
- [33] **ČSN EN ISO 2060 (80 25 02) Textilie – Zjišťování délkové hmotnosti pásovou metodou.** 1997.
- [34] *Analýza malých výběrů, dostupné na e-learning TUL.* [e-learning] Liberec : autor neznámý.
- [35] **ČSN EN ISO 2061 (80 07 09) Textilie – Zjišťování zákrutů nití.** 1997.



[36] **Uster Technologies AG.** *Application Handbook Part 2: Optical yarn evaluation.* místo neznámé : Uster Technologies AG, 2016.

[37] **ČSN EN ISO 5084 (80 0844) Textilie – Zjišťování tloušťky textilií a textilních výrobků.** 1998.

[38] **ČSN EN 61340-2-3 - Elektrostatika - Část 2-3: Metody zkoušek pro stanovení rezistance a rezistivity tuhých rovinných materiálů.** 2000.

[39] **International, ATSTM.** *Standard Test Method for Measuring the Electromagnetic Shielding Effectiveness of Planar Materials.* 2010.



Seznam obrázků

| | | |
|---|------------------------------------|----|
| Obrázek 1 - Mikroskopický snímek dvojmo skané hybridní příze, | 16 | |
| Obrázek 2 - Ochranné pouzdro pro mobilní telefon, zdroj [7]..... | 19 | |
| Obrázek 3 - Přehled zdrojů neionizujícího záření, zdroj [9] | 20 | |
| Obrázek 4 - Mechanismus elektromagnetického stínění, zdroj [15]..... | 22 | |
| Obrázek 5 - Schéma metody stíněné schránky, zdroj [17]..... | 24 | |
| Obrázek 6 - Schéma metody koaxiálního přenosového vedení, zdroj [17] | 25 | |
| Obrázek 7 - Příčný řez uhlíkového vlákna, zdroj [20] | 28 | |
| Obrázek 8 - Příklady typů bikomponentních vláken, [19] | 29 | |
| Obrázek 9 - Model vazné buňky | 34 | |
| Obrázek 10 - Model plátnové vazby, zdroj [28] | 35 | |
| Obrázek 11 - Model pěti vazného kepru, zdroj [28] | 36 | |
| Obrázek 12 - Model atlasové vazby, zdroj [28] | 37 | |
| Obrázek 13 - Strukturální modely provázání - typ I, typ II, typ III a typ IV., zdroj [22]..... | 39 | |
| Obrázek 14 - Model víceútkové tkaniny, zdroj [25] | 39 | |
| Obrázek 15 - Model vícenásobné tkaniny, zdroj [25]..... | 40 | |
| Obrázek 16 - Model vyrovnané tkaniny, zdroj [26]..... | 40 | |
| Obrázek 17 - Model vazné vlny dle Peirce, zdroj [22] | 41 | |
| Obrázek 18 - Zvlnění nití ve tkanině, zdroj [26]..... | 42 | |
| Obrázek 19 - Vzorek P 7 | Obrázek 20 - Vzorek K 1/4 20..... | 48 |
| Obrázek 21 - Vzorek A 1/7 35 | Obrázek 22 - Vzorek K 1/9 30 | 48 |
| Obrázek 23 - Vzorek K 1/7 22 | Obrázek 24 - Vzorek A 1/7 22 | 49 |
| Obrázek 25 - Střídy vazby: (a) Vzorky v plátnové vazbě, (b) Vzorky K 1/3 (S), (c) Vzorky K 1/4 (Z), (d) Vzorky K 1/7 (S), (e) Vzorky K 1/9 (Z), (f) Vzorky A 1/4 (2), (g) Vzorky A 1/7 (5), (h) Vzorky A 9/1 (3), (ch) Vzorky A 1(9 (3))..... | | 53 |
| Obrázek 26 - Typy strukturálních pórů provázání z pohledu vzornice: (a) typ I, (b) typ II, (c) typ III, (d) typ IV..... | | 53 |
| Obrázek 27 - Soustava pro měření plošné rezistance, zdroj [38]..... | | 56 |
| Obrázek 28 - Soustava pro měření objemové rezistance, zdroj [38]..... | | 57 |
| Obrázek 29 - Přístroj pro měření stínící účinnosti | | 68 |



Seznam tabulek

| | |
|--|----|
| Tabulka 1 - Třída I. stínících textilií - Profesionální použití..... | 18 |
| Tabulka 2 - Třída II. stínících textilií - Běžné použití..... | 18 |
| Tabulka 3 - Parametry vláken v hybridní přízi | 43 |
| Tabulka 4 - Hodnoty jemnosti jednoduché a skané příze | 44 |
| Tabulka 5 - Hodnoty zákrutu pro jednoduchou a skanou přízi | 45 |
| Tabulka 6 - Hodnoty chlupatosti a nestejnóměrnosti jednoduché a skané příze | 45 |
| Tabulka 7 - Soubor experimentálních tkanin - 1. a 2. skupina..... | 47 |
| Tabulka 8 - Sada experimentální tkanin - 3. skupina..... | 48 |
| Tabulka 9 - Hodnoty tloušťky vzorků - 1. a 2. skupina | 49 |
| Tabulka 10 - Hodnoty tloušťky vzorků - 3. skupina | 50 |
| Tabulka 11 - Číselné charakteristiky vazeb | 51 |
| Tabulka 12 – Relativní četnost strukturálních pórů | 54 |
| Tabulka 13 - Hodnoty plošné rezistivity | 57 |
| Tabulka 14 - Hodnoty plošné rezistivity u dutinné a spojkové tkaniny..... | 59 |
| Tabulka 15 - Hodnoty objemové rezistivity – 1. a 2. skupina vzorků | 63 |
| Tabulka 16 - Hodnoty objemové rezistivity u dutinné a spojkové tkaniny | 65 |
| Tabulka 17 - Hodnoty elektromagnetické stínící účinnosti pro frekvenci 1,5 GHz | 69 |
| Tabulka 18 - Párové korelační koeficienty..... | 78 |



Seznam grafů

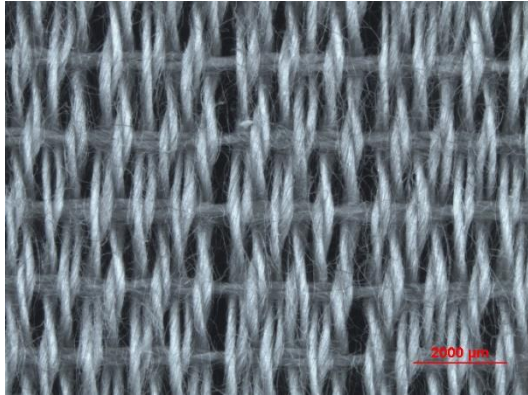
| | |
|---|----|
| Graf 1- Porovnání plošné rezistivity vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny | 58 |
| Graf 2 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u plátňové vazby | 59 |
| Graf 3 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u keprové vazby se shodnou velikostí střídy | 60 |
| Graf 4 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u atlasové vazby se shodnou velikostí střídy | 60 |
| Graf 5 - Vliv dostavy útku na plošnou rezistivitu u atlasové vazby se shodnou velikostí střídy | 61 |
| Graf 6 - Vliv provazujících úseků na plošnou rezistivitu prostřednictvím koeficientu provázanosti | 61 |
| Graf 7 - Vliv provázanosti na plošnou rezistivitu prostřednictvím relativní četnosti strukturálních pórů typu I | 62 |
| Graf 8 - Vliv délky flotáže na plošnou rezistivitu prostřednictvím relativní četnosti strukturálních pórů typu IV | 63 |
| Graf 9 - Porovnání objemové rezistivity vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny | 64 |
| Graf 10 - Vliv tloušťky tkaniny na objemovou rezistanci | 66 |
| Graf 11 - Vliv více vrstev tkaniny na objemovou rezistivitu | 66 |
| Graf 12 - Vliv více vrstev a jejich provázání na tloušťku materiálu s ohledem na objemovou rezistivitu | 67 |
| Graf 13 - Elektromagnetické stínění u vzorků jednoduché a dvojútkové tkaniny | 70 |
| Graf 14 - Vliv dostavy útku na stínící účinnost pro celé frekvenční pásmo | 71 |
| Graf 15 - Vliv dostavy útku a jemnosti na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz | 71 |
| Graf 16 - Vliv dostavy útku na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz | 72 |
| Graf 17 - Vliv zdvojeného útku na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz | 73 |
| Graf 18 - Vliv provázání na stínící účinnost při frekvenci 1,5 GHz | 74 |
| Graf 19 - Vliv relativní četnosti strukturální pórů typu I na EMS | 74 |
| Graf 20 - Vliv délky flotáže prostřednictvím rp_4 na stínící účinnost pro frekvenci 1,5 GHz .. | 75 |
| Graf 21 - Vliv délky flotáže prostřednictvím rp_4 na stínící účinnost pro frekvenci 1,5 GHz .. | 75 |
| Graf 22 - Vliv četnosti provazujících úseků na EMS | 76 |
| Graf 23 - Vliv tloušťky na EMS | 76 |



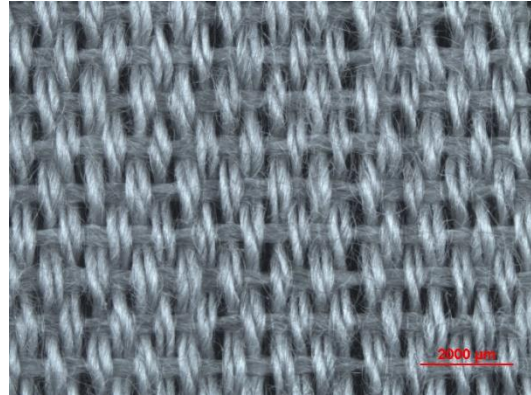
| | |
|--|----|
| Graf 24 - Vliv více vrstev tkaniny na EMS..... | 77 |
| Graf 25 - Vliv tloušťky u dvojnásobné tkaniny na EMS | 77 |
| Graf 26 - Závislost EMS na dostavě útku | 79 |
| Graf 27 - Závislost EMS na tloušťce tkaniny..... | 79 |



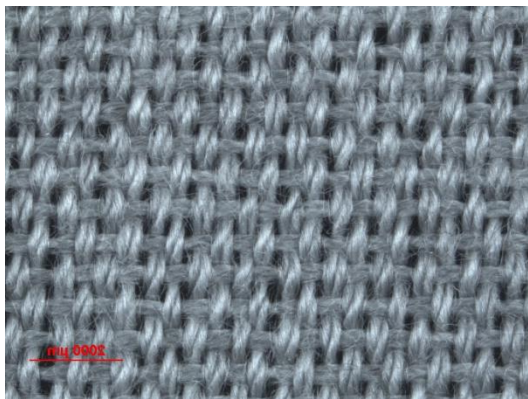
Příloha č. 1 – Snímky experimentálních vzorků



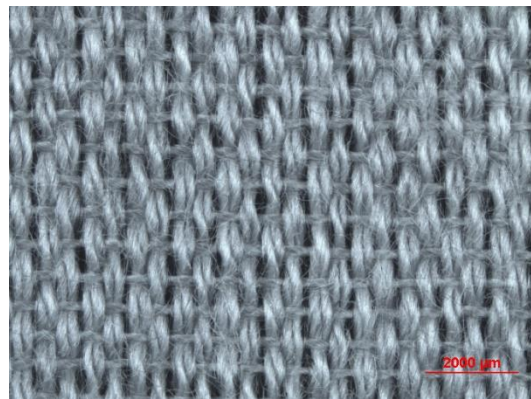
Vzorek P 7



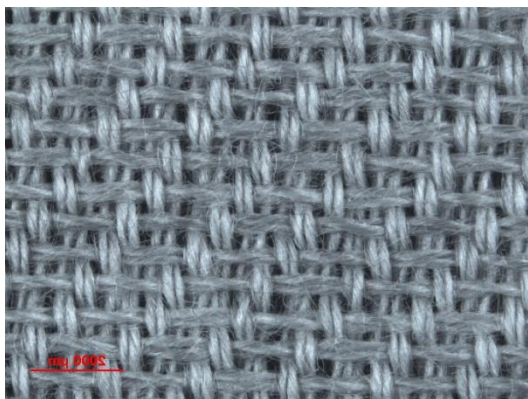
Vzorek P 11



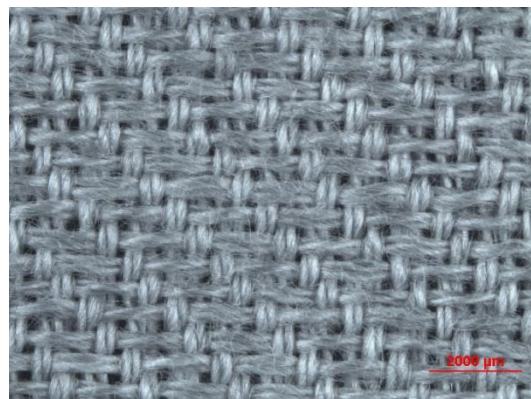
Vzorek P 15



Vzorek P 15 20tex



Vzorek K 1/3 15

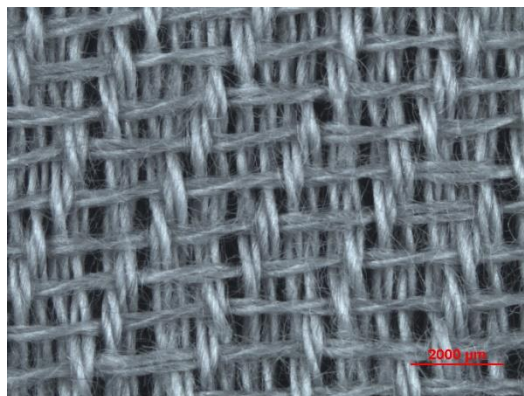


Vzorek K 1/3 18

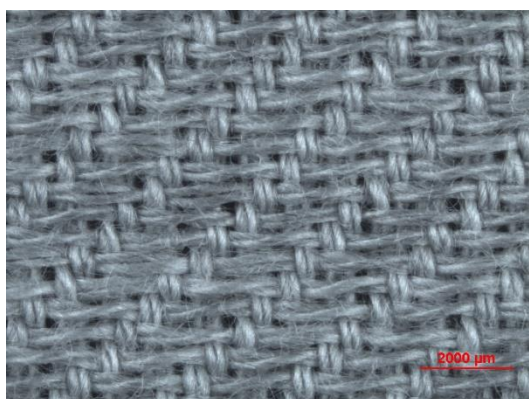




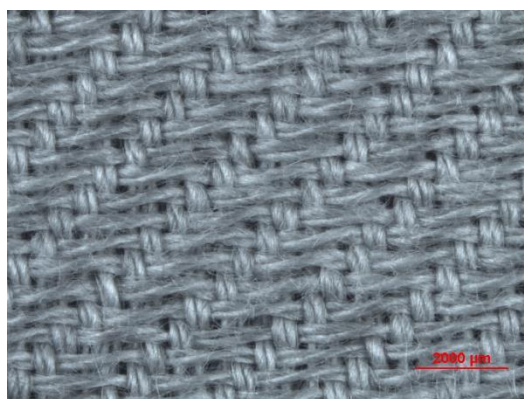
Vzorek K 1/3 22



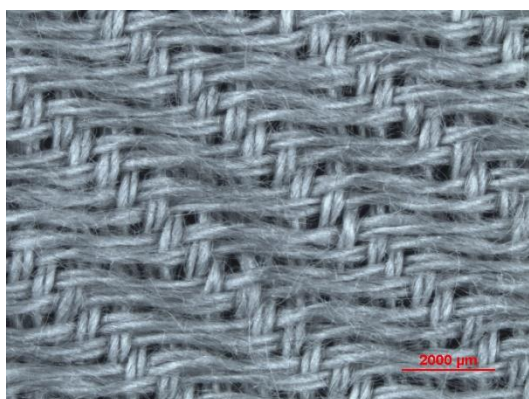
Vzorek K 1/4 10



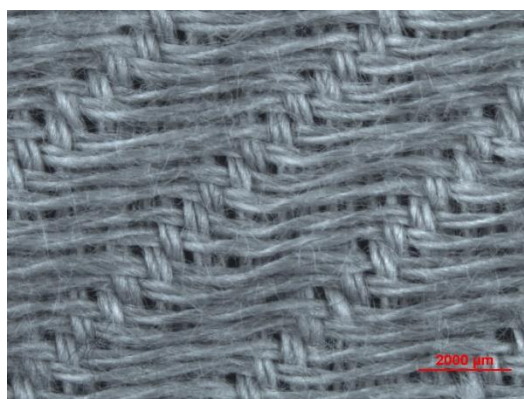
Vzorek K 1/4 15



Vzorek K 1/4 20

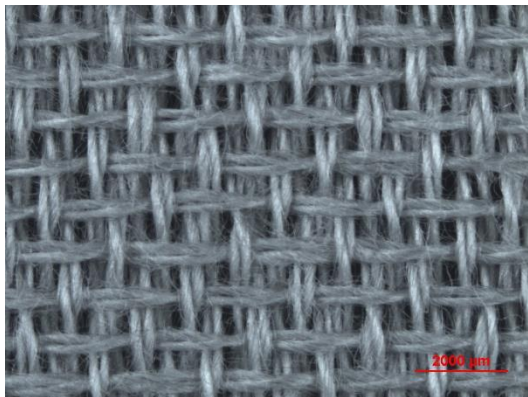


Vzorek K 1/7 22

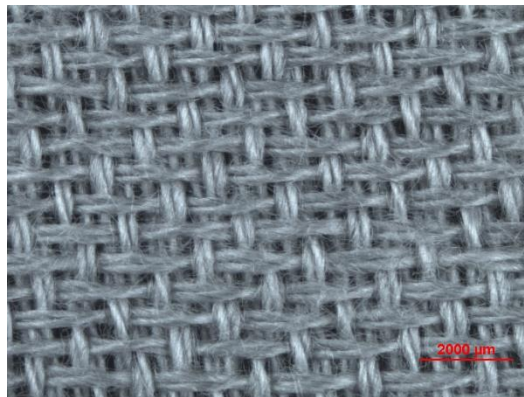


Vzorek K 1/9 20

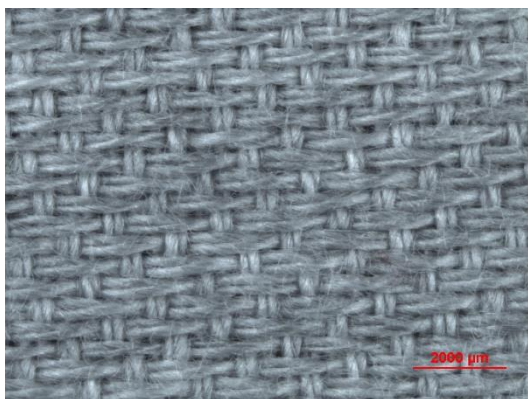




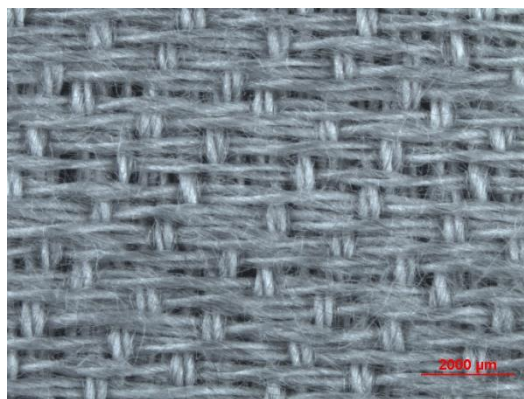
Vzorek A 1/4 10



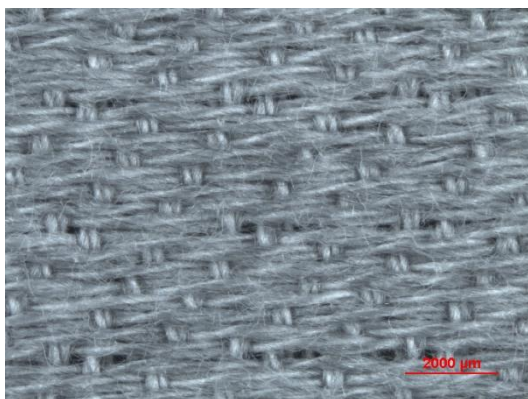
Vzorek A 1/4 15



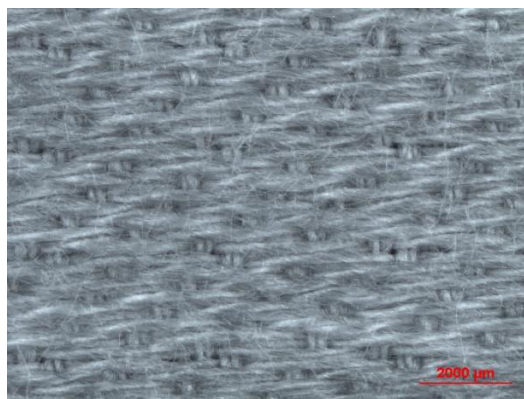
Vzorek A 1/4 22



Vzorek A 1/7 22

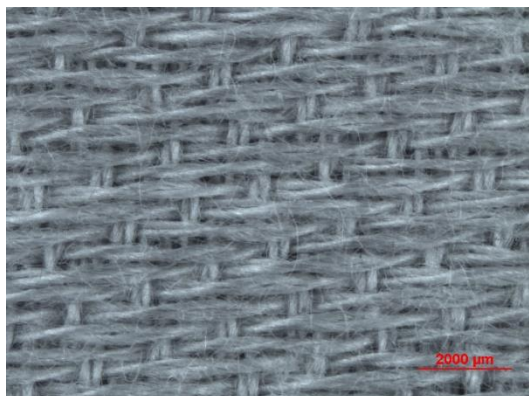


Vzorek A 1/7 30

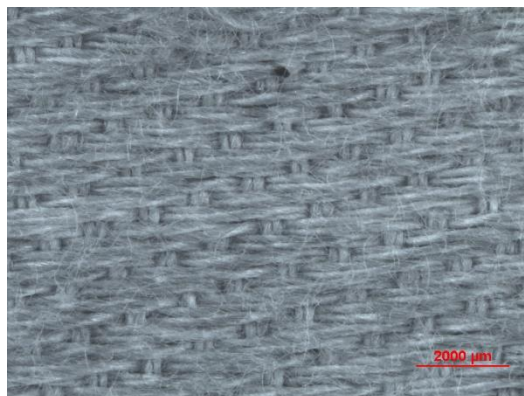


Vzorek A 1/7 35

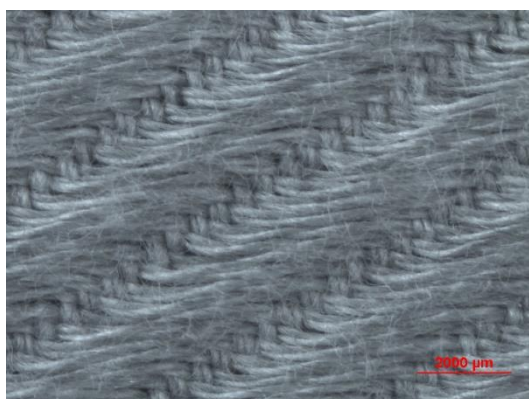




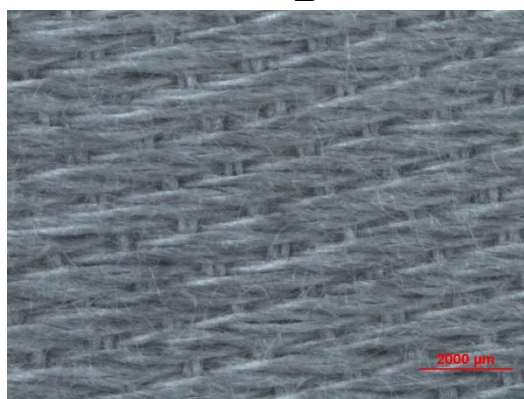
Vzorek A 1/9 22



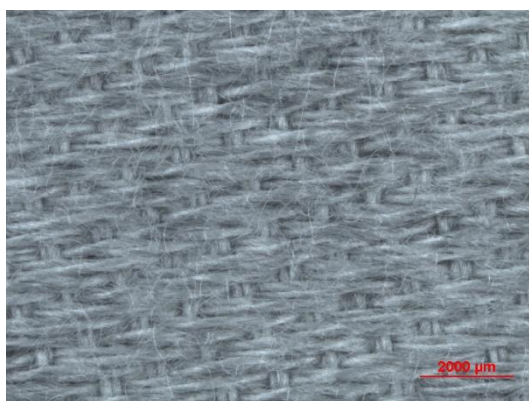
Vzorek A 1/9 30_jednoduchá



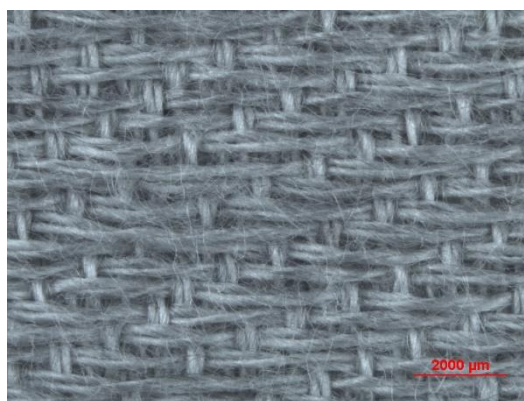
Vzorek K 1/9 30



Vzorek A 1/9 30

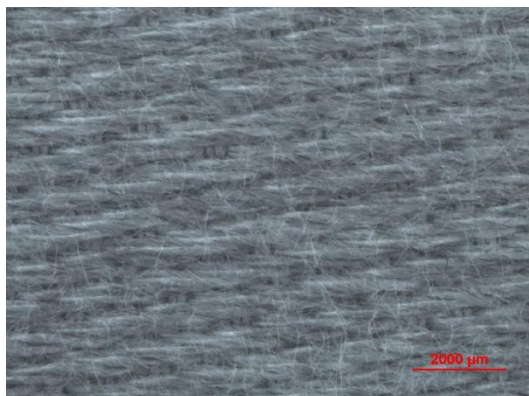


Vzorek A 1/9 40

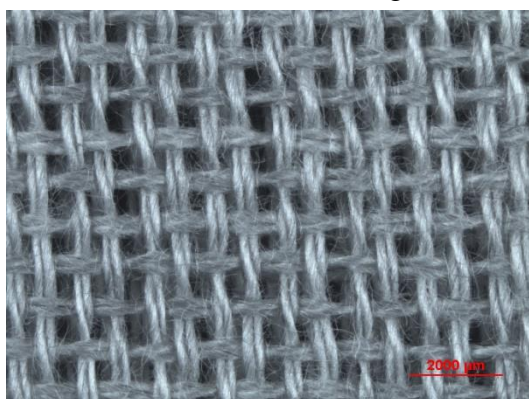


Vzorek A 1/9 40 -reg.

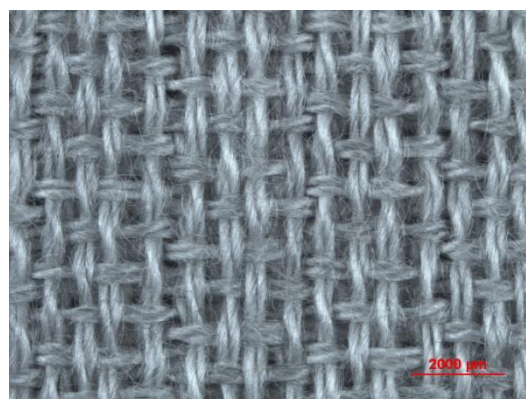




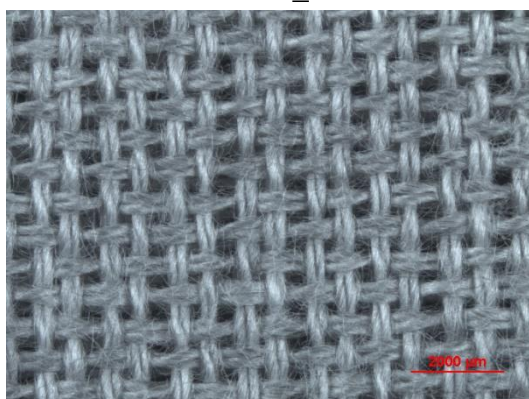
Vzorek A 9/1 40 +reg.



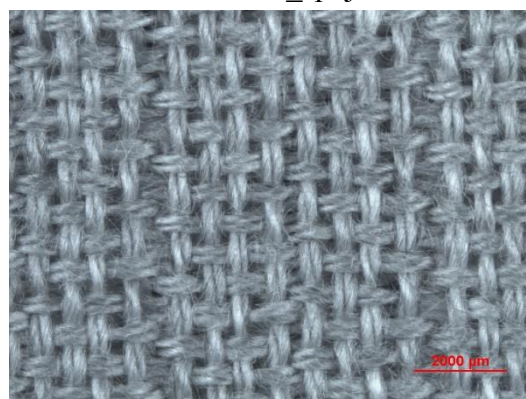
Vzorek P 10_dutinná



Vzorek P 10_spojková

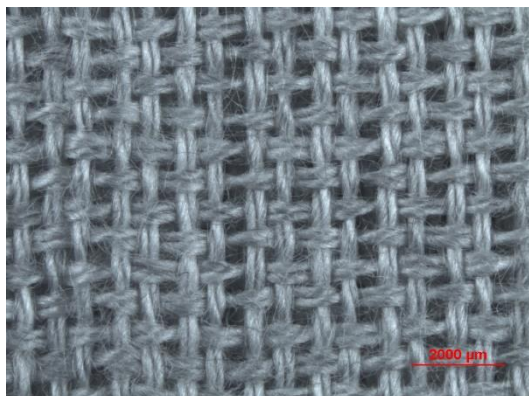


Vzorek P 14_dutinná

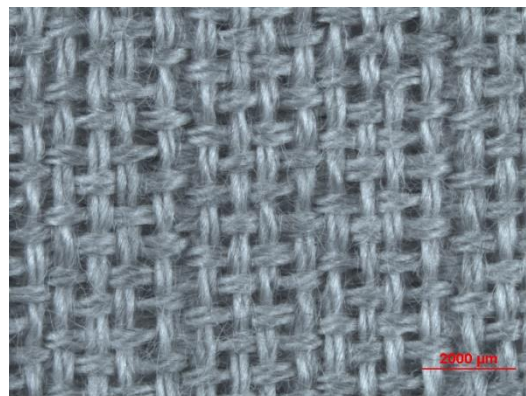


Vzorek P 14_spojková

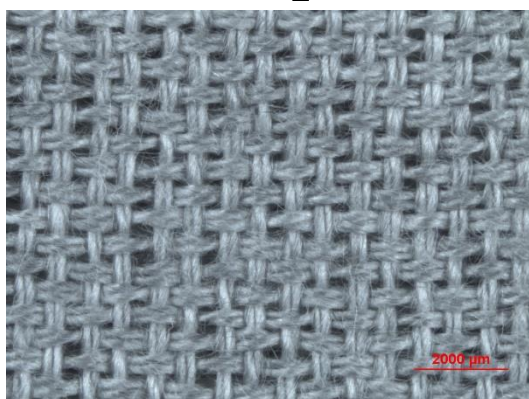




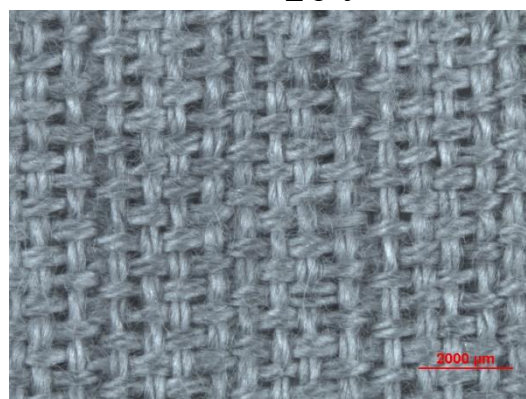
Vzorek P 16_dutinná



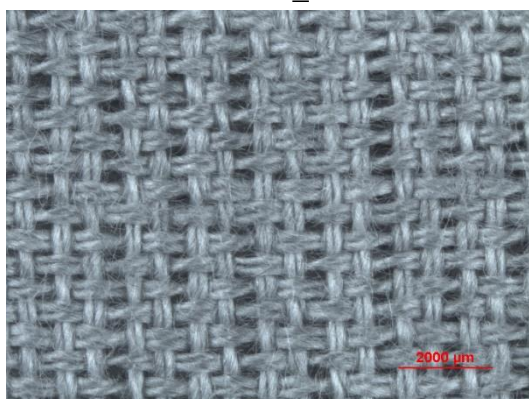
Vzorek P 16_spojková



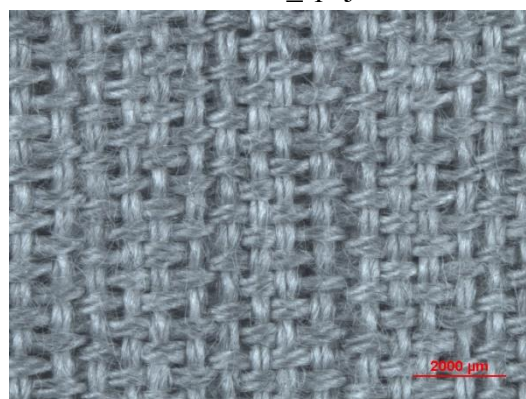
Vzorek P 18_dutinná



Vzorek P 18_spojková

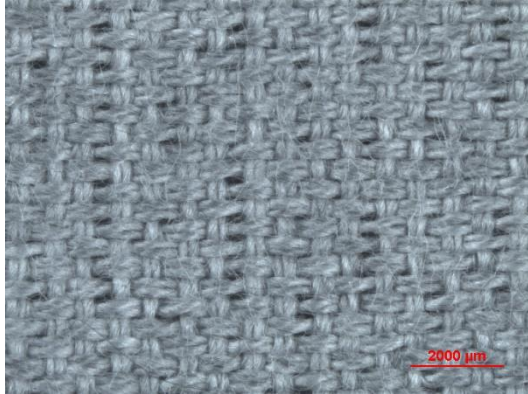


Vzorek P 20_dutinná

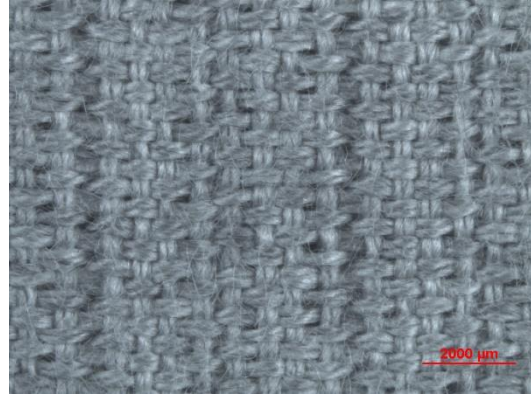


Vzorek P 20_spojková





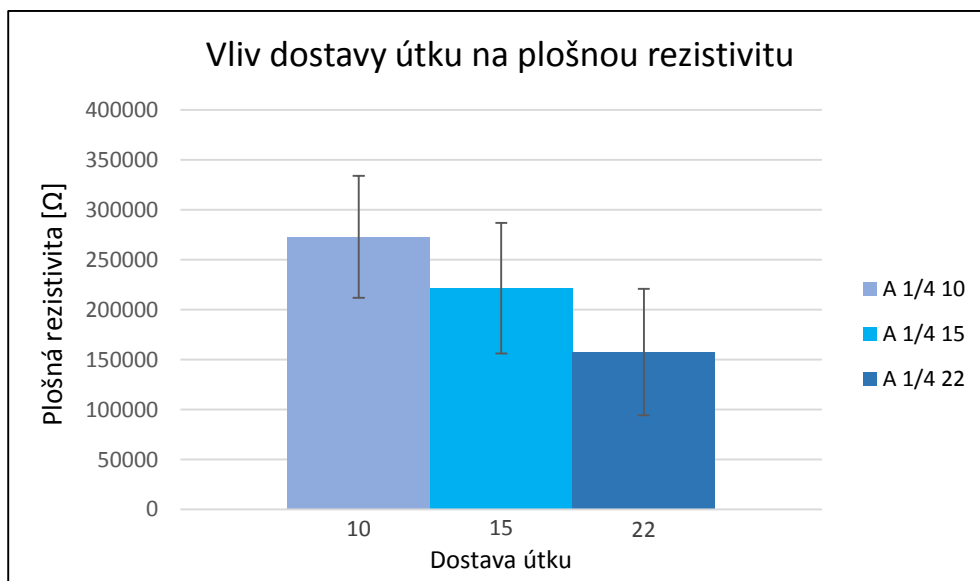
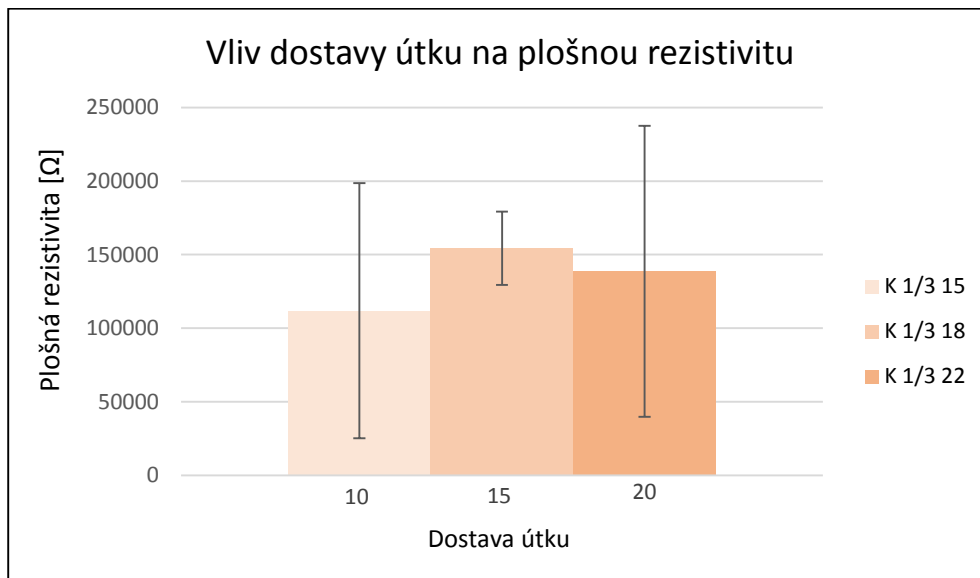
Vzorek P 24_dutinná

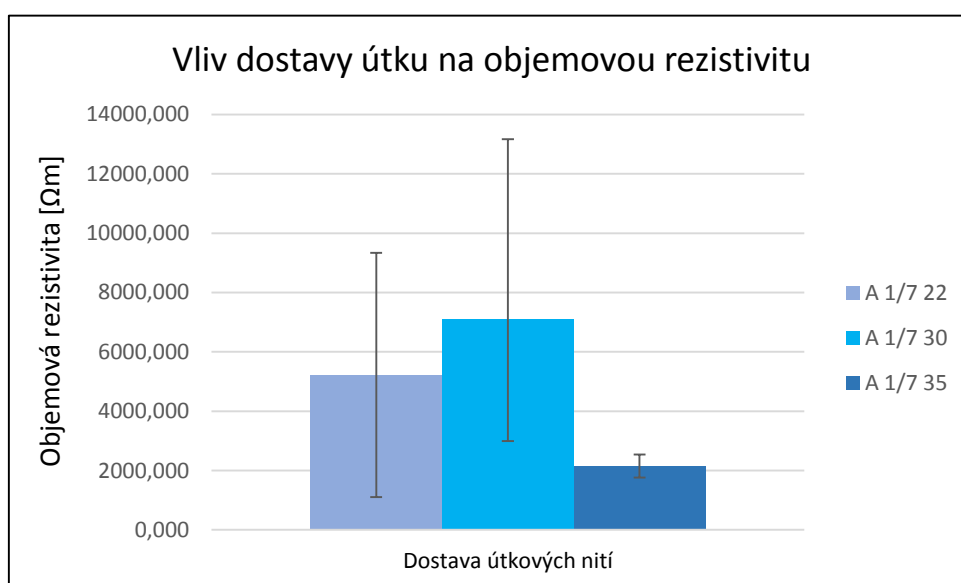
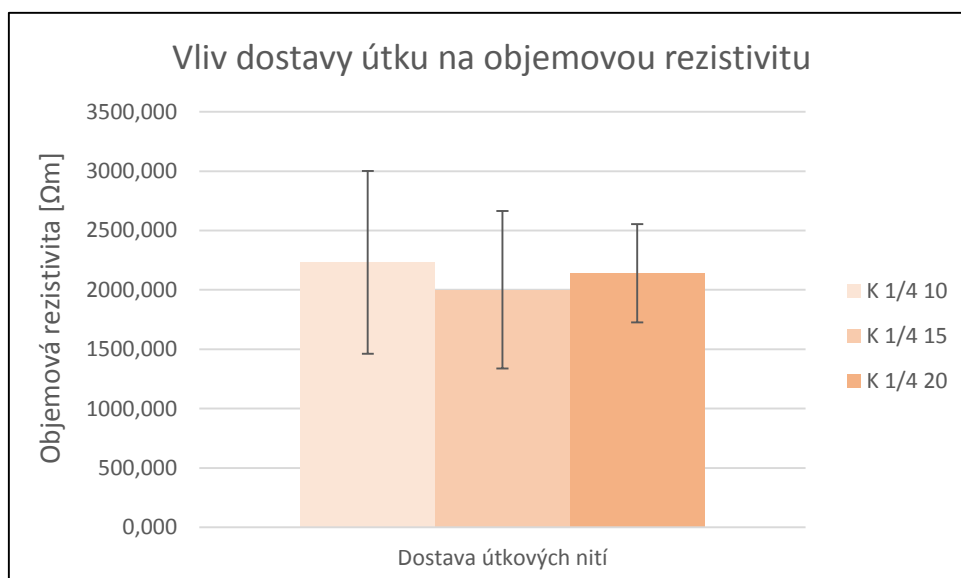
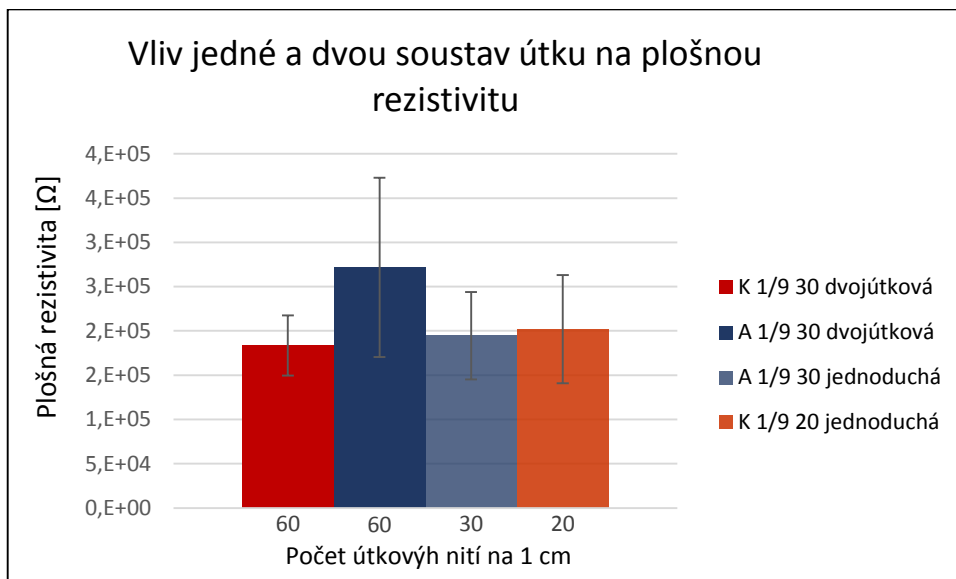


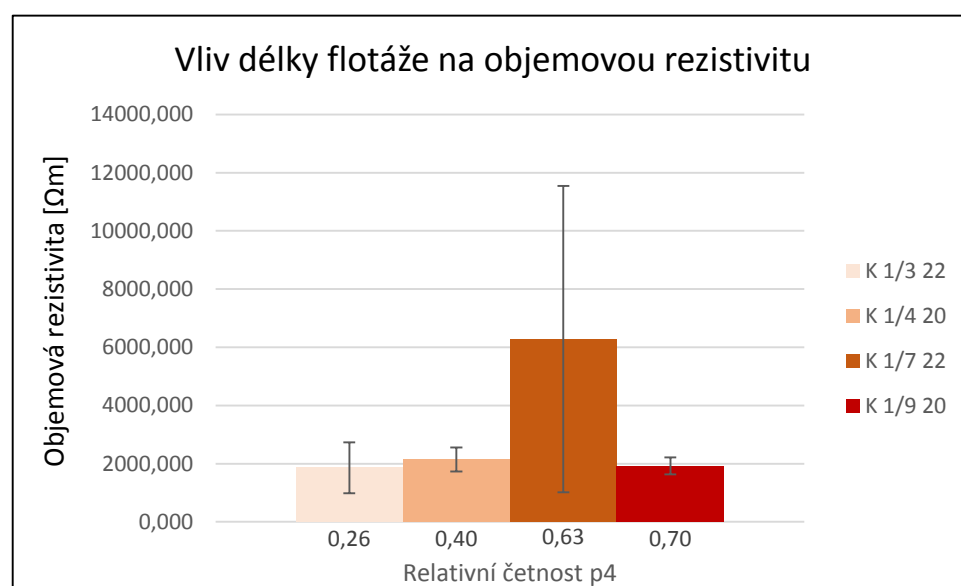
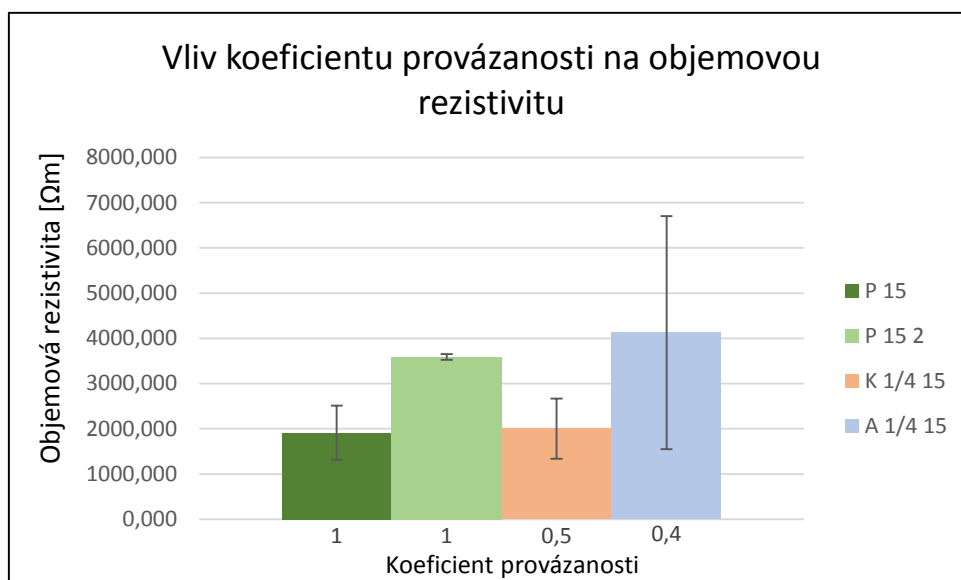
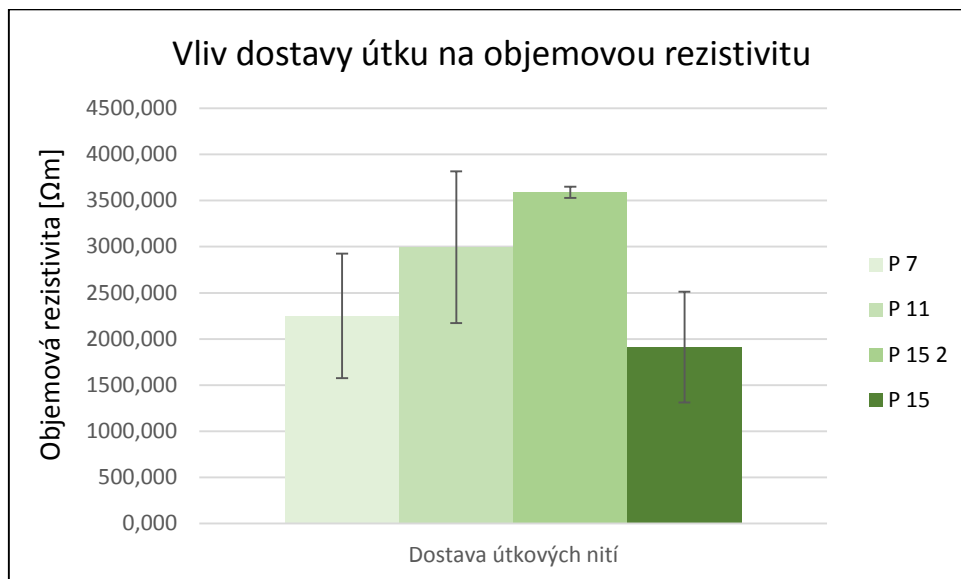
Vzorek P 24_spojková

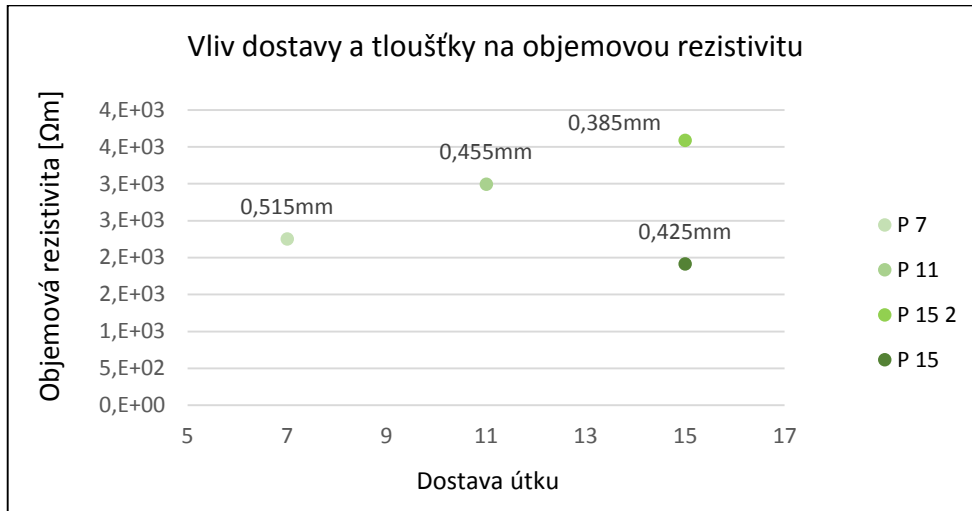


Příloha č. 2 – Vliv parametrů na plošnou a objemovou rezistivitu









Příloha č. 3 – Hodnoty elektromagnetického stínění pro vybrané frekvence

| Skupina tkanin | Označení vzorku | SE [dB] f = 30Hz | | SE [dB] f = 600MHz | | SE [dB] f = 1GHz | | SE [dB] f = 1,5GHz | |
|---|---------------------|---------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|--------|-----------------------|--------|
| | | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS |
| 1. skupina: tkaniny jednoduché | P 7 | 12,306 | 1,756 | 25,166 | 0,303 | 28,441 | 0,481 | 32,931 | 0,311 |
| | P 11 | 13,370 | 0,799 | 30,386 | 0,205 | 32,301 | 0,202 | 35,692 | 0,222 |
| | P 15 | 14,750 | 0,310 | 32,906 | 0,522 | 34,222 | 0,533 | 37,356 | 0,162 |
| | P 15 20tex | 12,587 | 1,483 | 28,696 | 0,181 | 30,476 | 0,270 | 33,746 | 0,201 |
| | K 1/3 15 | 14,616 | 0,892 | 33,465 | 1,467 | 35,465 | 1,097 | 38,697 | 0,808 |
| | K 1/3 18 | 14,981 | 0,220 | 35,308 | 0,895 | 37,036 | 0,382 | 39,788 | 0,726 |
| | K 1/3 22 | 15,748 | 0,753 | 35,684 | 0,515 | 37,280 | 0,340 | 40,195 | 0,204 |
| | K 1/4 10 | 12,296 | 1,266 | 28,927 | 1,093 | 32,239 | 0,758 | 36,025 | 0,596 |
| | K 1/4 15 | 14,588 | 2,059 | 34,329 | 0,685 | 36,314 | 0,989 | 39,131 | 0,450 |
| | K 1/4 20 | 14,459 | 0,800 | 35,749 | 3,404 | 37,320 | 2,310 | 39,841 | 1,083 |
| | K 1/7 22 | 14,435 | 1,237 | 34,554 | 0,526 | 37,113 | 0,248 | 40,007 | 0,465 |
| | K 1/9 20 | 14,911 | 0,821 | 33,490 | 3,025 | 36,686 | 2,326 | 39,713 | 1,092 |
| | A 1/4 10 | 12,709 | 0,696 | 28,848 | 0,504 | 32,042 | 0,427 | 35,742 | 0,619 |
| | A 1/4 15 | 13,638 | 1,316 | 33,308 | 0,954 | 35,533 | 1,334 | 38,551 | 1,226 |
| | A 1/4 22 | 15,567 | 2,382 | 35,564 | 2,152 | 37,196 | 2,032 | 39,791 | 1,667 |
| | A 1/7 22 | 14,377 | 2,347 | 34,742 | 1,464 | 37,085 | 1,189 | 39,201 | 0,036 |
| | A 1/7 30 | 15,214 | 0,015 | 36,938 | 0,628 | 38,189 | 0,265 | 39,725 | 0,365 |
| | A 1/7 35 | 15,571 | 1,230 | 36,417 | 0,703 | 37,715 | 0,127 | 39,638 | 0,372 |
| | A 1/9 22 | 14,011 | 1,698 | 32,855 | 0,675 | 35,892 | 0,605 | 38,509 | 0,303 |
| | A 1/9 30 jednoduchá | 16,064 | 0,916 | 37,295 | 1,098 | 38,171 | 1,017 | 39,892 | 0,680 |
| 2. skupina: tkaniny dvojútkové | K 1/9 30 | 18,537 | 4,463 | 36,451 | 1,321 | 38,766 | 0,440 | 45,402 | 0,448 |
| | A 1/9 30 | 22,476 | 4,598 | 35,933 | 1,027 | 38,056 | 0,367 | 43,994 | 0,839 |
| | A 1/9 40 | 22,114 | 3,427 | 38,718 | 0,917 | 40,319 | 0,427 | 45,651 | 0,274 |
| | A 1/9 40 -reg. | 22,374 | 0,191 | 37,745 | 1,047 | 39,294 | 0,694 | 43,195 | 1,496 |
| | A 9/1 40 +reg. | 20,893 | 8,609 | 39,132 | 0,624 | 40,574 | 1,486 | 47,653 | 0,861 |



| Skupina tkanin | Označení vzorku | SE [dB] f = 30Hz | | SE [dB] f = 600MHz | | SE [dB] f = 1GHz | | SE [dB] f = 1,5GHz | |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------|--------|-----------------------|--------|---------------------|--------|-----------------------|--------|
| | | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS | P _L | 95% IS |
| 3. skupina: tkaniny dvojnásobné | P 10_dutinná | 21,670 | 2,295 | 42,177 | 0,914 | 42,496 | 1,479 | 43,926 | 0,791 |
| | P 10_spojková | 16,350 | 0,455 | 36,336 | 1,437 | 37,252 | 0,98 | 39,959 | 0,627 |
| | P 14_dutinná | 23,107 | 1,425 | 44,638 | 1,757 | 44,802 | 1,393 | 46,392 | 0,536 |
| | P 14_spojková | 18,283 | 0,379 | 36,645 | 0,353 | 37,277 | 0,299 | 40,209 | 0,768 |
| | P 16_dutinná | 24,636 | 3,521 | 44,528 | 0,772 | 44,573 | 1,215 | 46,366 | 3,588 |
| | P 16_spojková | 17,658 | 0,093 | 36,052 | 0,584 | 36,730 | 0,533 | 39,824 | 1,110 |
| | P 18_dutinná | 26,000 | 3,191 | 44,676 | 0,524 | 44,515 | 1,935 | 48,289 | 1,536 |
| | P 18_spojková | 18,049 | 1,315 | 36,102 | 0,901 | 36,669 | 0,338 | 39,835 | 0,909 |
| | P 20_dutinná | 24,659 | 2,592 | 44,315 | 1,974 | 44,602 | 0,905 | 47,065 | 1,697 |
| | P 20_spojková | 17,756 | 1,140 | 35,694 | 0,402 | 36,240 | 0,581 | 39,440 | 0,277 |
| | P 24_dutinná | 25,583 | 4,624 | 45,546 | 1,019 | 44,626 | 0,180 | 48,635 | 2,404 |
| | P 24_spojková | 15,649 | 0,988 | 34,809 | 1,204 | 35,461 | 1,013 | 38,905 | 0,852 |

